

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Кузьмінський Є.В.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія,  
(код і назва)

на тему: Технологія виробництва біогазу з відходів тваринництва

Виконав: студент 2 курсу, групи БЕ-71мп  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ Любецький Олег Володимирович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доцент Щурська Катерина Олександрівна  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (назва розділу)

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (назва розділу)

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018року

## ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ	Пояснювальна записка	129	
3	A1	МД.162.БЕЗ110.01.00.ТС	Технологічна схема	1	
4	A1	МД.162.БЕЗ110.02.00.АС	Апаратурна схема	1	
5	A1	МД.162.БЕЗ110.03.00.ВЗ	Горизонтальний метантенк	1	
6	A1	МД.162.БЕЗ110.04.00.СА	Схема автоматизації	1	
7	A1	МД.162.БЕЗ110.05.00.ТБ	Техніко-економічні показники	1	

				МД.162.БЕЗ110.00.01 ВМД		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість магістерської дисертації	Лист	Листів
Розробн.	Любецький О.В.				1	1
Керівн.	Щурська К.О.				КП ім. Ігоря Сікорського Каф. ЕКБ Гр. БЕ-71мп	
Консульт.	Саблій Л.А.					
Н/контр.						
Зав.каф.	Кузьмінський Є.В.					

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія,

спеціалізація «екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Кузьмінський Є.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

Любецькому Олегу Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Технологія виробництва біогазу з відходів тваринництва»,

науковий керівник дисертації к.т.н., доцент Щурська Катерина Олександрівна,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: Технологія виробництва біогазу з відходів тваринництва

4. Предмет дослідження: Виробництво біогазу з відходів тваринництва з подальшою його очисткою та кондиціонуванням з метою подачі до газорозподільчої мережі

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дати характеристику сировині та біологічному агенту, які використовуються для виробництва біогазу; обрати та обґрунтувати технологічну схему виробництва біогазу з відходів тваринництва; навести схеми перебігу біохімічних процесів, які відбуваються при проведенні технологічного процесу; спроектувати технологічний процес з визначенням контрольних точок та матеріального балансу виробництва;

розрахувати основні параметри технологічних ліній метанового зброджування гноєвої біомаси; розрахувати техніко-економічні показники; розробити схему автоматизації стадії зброджування біомаси; навести перелік заходів щодо охорони праці та охорони довкілля.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: технологічна схема, апаратурна схема, креслення головного апарату, схема автоматизації стадії виробництва, техніко-економічні показники

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Автоматизація виробництва	д.т.н., професор Мельник Вікторія Миколаївна		
Економічна частина	к.е.н., доцент Ткаченко Тетяна Петрівна		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Характеристика сировини, біологічного агента. Обґрунтування вибору технології		
2	Опис біохімічних основ технологічного процесу		
3	Характеристика технології виробництва біогазу з відходів тваринництва		
4	Вибір та характеристика обладнання		
5	Розрахунок основних параметрів технологічних ліній метанового зброджування гноєвої біомаси		
6	Розробка схеми автоматизації стадії виробництва		
7	Розрахунок техніко-економічних показників		
8	Охорона праці та довкілля		
9	Оформлення дисертації		
10	Підготовка до захисту. Попередній захист		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

О. В. Любецький  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_  
(підпис)

К. О. Щурська  
(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 129с. , 10 рис., 33 табл., 49 посилань.

В роботі обрано та обґрунтовано технологію виробництва біогазу з відходів тваринництва з подальшою його очисткою та кондиціонуванням до якості природного газу, для подачі до газорозподільчої мережі. Вибрано вихідну сировину – гній ВРХ та силос кукурудзи, визначено оптимальне співвідношення сировини для отримання максимального виходу біогазу. Розраховано матеріальний баланс процесу, наведено і описано технологічну схему виробництва біогазу, розроблено схему автоматизації стадії зброджування, вказано точки і параметри контролю етапів процесу, які необхідні для забезпечення якості кінцевої продукції, охорони праці і довкілля.

БІОГАЗ, ВІДХОДИ ТВАРИННИЦТВА, МЕТАНОГЕНЕЗ,  
МЕТАНТЕНК, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА, ЗБРОДЖУВАННЯ.

## **ABSTRACT**

The explanatory note: 129 pages , 10 figures, 33 tables, 49 references.

Technology of biogas production from the animal waste for further purification and conditioning to the quality of natural gas for delivery to the gas distribution network are selected and substantiated. Raw materials - manure of cattle and corn silage are chosen, requirements for bioraw materials are given, the proposed optimal ratio of raw materials for obtaining maximum output of biogas, the material balance of the process is calculated, the technological scheme and hardware circuit of biogas production are described, the main and auxiliary equipment are chosen, the specified points and control parameters stages of the process required to ensure the quality of the final product, occupational safety and the environment are mentioned.

**BIOGAS, ANIMAL WASTE, METHANOGENESIS, METANTHENK, WOOD WASTE, BIOGRAPHICAL INSTALLATION, WELDING**

## ЗМІСТ

Вступ.....	11
1. Характеристика сировини, біологічного агента. Обґрунтування технології.....	13
1.1. Характеристика сировини.....	13
1.2. Обґрунтування вибору технології.....	24
1.2.1. Одно- та багатоступінчастий процес.....	26
1.2.2. Мезофільне та термофільне зброджування.....	27
1.2.3. «Сухий» та «мокрый» метод бродіння.....	29
1.2.4. Установки для зброджування.....	31
2. Біохімічні основи технологічного процесу.....	35
2.1. Схема перебігу процесів.....	35
2.2. Характеристика кінцевого продукту.....	44
3. Технологія виробництва біогазу з відходів тваринництва.....	48
3.1. Сировина та матеріали.....	48
3.2. Опис технологічного процесу.....	49
3.3. Контроль виробництва.....	54
3.4. Матеріальний баланс.....	56
3.4. Матеріальний баланс.....	79
4. Вибір та характеристика обладнання.....	81
4.1. Обґрунтування обраної конструкції метантенка.....	81
4.2. Технологічна характеристика метантенка.....	60
4.3. Обґрунтування вибору технологічної схеми.....	61
5. Розрахунок основних параметрів технологічних ліній метанового зброджування гноєвої біомаси .....	74
5.1. Розрахунок добового та річного виходу гноєвої біомаси .....	74

					<i>МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Любецький О.В.</i>			<i>ЗМІСТ</i>			
Конс.								
Керівн.		<i>Щирська К.О.</i>						
Затверд.		<i>Щирська К.О.</i>						
						Літ.	Арк.	Аркушів
							<b>6</b>	<b>129</b>
						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБТ, гр. БЕ-31</i>		

5.2. Розрахунок впливу якісних параметрів гноєвої біомаси на вихід біогазу.....	77
5.3. Визначення основних параметрів системи анаеробного зброджування гноєвої біомаси (метантенка) БГУ.....	81
5.2. Визначення виходу залишкової продукції .....	85
5.5. Визначення виходу товарного біогазу .....	87
6. Автоматизація стадії зброджування у виробництві біогазу з відходів тваринництва .....	90
6.1. Основні рішення автоматизації.....	91
6.2. Автоматичне регулювання .....	92
6.3. Технологічна сигналізація та захист.....	94
6.4. Дистанційне управління.....	94
7. Економічна частина.....	98
7.1. Розрахунок виробничої потужності.....	98
7.2. Розрахунок ефективного фонду робочого часу підприємства.....	98
7.3. Розрахунок та побудова графіка ТОРО .....	99
7.4. Аналіз техніко-економічних показників .....	101
7.5. Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту .....	103
7.5.1. Розрахунок капітальних витрат на будівництво нового підприємства.....	103
7.5.2. Розрахунок собівартості продукції підприємства. Амортизаційні відрахування .....	106
7.5.3. Розрахунок вартості сировини та матеріалів.....	106
7.5.4. Розрахунок вартості палива та енергії на технологічні потреби.....	107



7.5.5. Розрахунок основної та додаткової заробітної плати виробничих працівників із нарахуваннями.....	108
7.5.6. Розрахунок цехових витрат.....	112
7.5.7. Розрахунок загальнозаводських витрат.....	112
7.5.8. Розрахунок собівартості продукції.....	113
8. Охорона праці та довкілля.....	115
8.1. Загальні вимоги безпечної експлуатації.....	115
8.2. Правила безпечної експлуатації метантенків.....	116
8.3. Вимоги санітарної безпеки.....	118
8.4. Охорона довкілля.....	118
Висновки.....	119
Перелік використаних джерел .....	121
Додаток А.....	127

## ВСТУП

В сучасних умовах складного стану енергетичної галузі, все більшого розмаху набуває застосування енергозберігаючих технологій та використання альтернативних джерел енергії.

Вагомою складовою енергетичного потенціалу будь-якої країни є використання енергії біомаси, яка стає ефективною економічно вигідною галуззю, що може конкурувати з енергетикою на викопному паливі. Беручи до уваги невпинний приріст цін на енергоресурси, все більше постає питання про використання саме альтернативних джерел енергії, які можна отримати з біомаси, тим паче Україна являється аграрною країною.

В Україні є незадіяний потенціал для виробництва власної енергії з відновлюваних джерел – переробка відходів тваринництва (гною тварин та посліду птахів) з утворенням біогазу, який потім можливо використовувати для виробництва електроенергії, тепла або палива – аналогів природного газу.

Переробка відходів тваринництва з утворенням біогазу дасть змогу частково розв'язати екологічні проблеми, а також отримати переваги у вигляді децентралізованого виробництва відновлюваної енергії або виробництва палива.

Ратифікація Україною Паризької кліматичної угоди передбачає збільшення частки відновлювальних джерел енергії. Так, відповідно до „Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року” та „Енергетичної стратегії на період до 2030 року”, частка відновлюваних джерел енергії у загальному обсязі енергоспоживання має досягнути 11% до 2020 року.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Любецький О.В.				ВСТУП		Літ.	Арк.
Конс.								11
								129
Керівн.	Щирська К.О.						КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп	
Затверд.	Щирська К.О.							

Свіжий гній тваринницьких ферм і рідкі складові гною разом із стічними водами є забруднювачами навколишнього середовища.

Підвищена сприйнятливість сільськогосподарських культур до свіжого гною приводить до забруднення ґрунтових вод і повітряного басейну, створює сприятливе середовище для зараженості ґрунту шкідливими мікроорганізмами. У гної тварин життєдіяльність хвороботворних бактерій і яєць гельмінтів не припиняється, насіння смітних трав, що міститься в ньому, зберігає свої властивості. Для усунення цих негативних явищ необхідна спеціальна технологія обробки гною, що дозволяє підвищити концентрацію живильних речовин і одночасно усунути неприємні запахи, подавити патогенні мікроорганізми, понизити зміст канцерогенних речовин. Перспективним, екологічно безпечним і економічно вигідним напрямом рішення цієї проблеми є анаеробна переробка гною і відходів в біогазових установках з отриманням біогазу.

У зв'язку з цим розробка нових економічно вигідних методів виробництва біогазу є досить актуальною.

Метою дипломного проекту є вибір та обґрунтування технології виробництва біогазу з відходів тваринництва.

Для досягнення поставленої мети визначено такі задачі:

- дати характеристику сировині та біологічному агенту, які використовуються для виробництва біогазу;
- обрати та обґрунтувати технологічну схему виробництва біогазу з відходів тваринництва;
- навести схеми перебігу біохімічних процесів, які відбуваються при проведенні технологічного процесу;
- спроектувати технологічний процес з визначенням контрольних точок та матеріального балансу виробництва;
- розрахувати основні параметри технологічних ліній метанового зброджування гноєвої біомаси;
- розрахувати техніко-економічні показники;
- розробити схему автоматизації стадії зброджування біомаси;
- навести перелік заходів щодо охорони праці та охорони довкілля

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

# 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

## 1.1 Характеристика сировини

Невпинно збільшується значимість відновних джерел у виробництві енергії і актуальним є питання підвищення частки відновних джерел в енергобалансі окремо кожної країни. На біомасу припадає 10%, або 258 млн. т н. е. на рік, тобто у світі біомаса забезпечує найбільшу частину постачання енергії з відновлювальних джерел. В Україні частка біомаси в первинному енергопостачанні становить лише 1,4%, або 1695 тис. т н. е [4].

Одним із перспективних напрямів для України є переробка біомаси відходів тваринництва, а саме – гною тварин та посліду птахів – шляхом анаеробного зброджування з утворенням біогазу, який потім власне і використовується для виробництва енергії або палива [2].

Вважається, що відходи тваринництва належать до субстратів, доцільніше використовувати при виробництві біогазу (як моносубстрат або в компонуванні з іншими субстратами). В порівнянні з іншими видами біомаси, гній та послід утворюються як побічні продукти тваринництва і потребують утилізації в екологічно безпечним способом. Крім того, гній ідеально підходить як субстрат, бо легко змішується з іншою доступною сировиною, такою, як силос окремих рослин, зокрема силос кукурудзи (стебел) та ін. [5].

В Україні поголів'я тварин становить 2,5 млн голів великої рогатої худоби (ВРХ), 7,9 млн свиней та 230,3 млн птиці. У перерахунку на відходи, це становитиме до 15 млн м<sup>3</sup> гною ВРХ, 166 млн м<sup>3</sup> гною свиней та 1725 млн м<sup>3</sup> посліду птахів. З цих відходів можливо отримувати від 2831 Нм<sup>3</sup> до 4711 Нм<sup>3</sup> біогазу на рік, або від 1779 млн Нм<sup>3</sup> до 2862 млн Нм<sup>3</sup> біометану на рік (табл.

1.1) [2].

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Любецький О.В.				ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА. ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ	Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.							35	129
Керівн.	Щирська К.О.					КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп		
Затверд.	Щирська К.О.							

Таблиця 1.1. Потенціал отримання біогазу з відходів тваринництва в Україні, 2014 рік

	Поголів'я, млн голів	Вихід гною або посліду, м <sup>3</sup> /тварино- місце/рік	Вихід біогазу, Нм <sup>3</sup> /т субстрату	Вміст метану, %	Вихід біогазу, Нм <sup>3</sup> /рік		Вихід біометану, Нм <sup>3</sup> /рік
					min	max	
ВРХ	2,5	7,5 – 21,0	25	60	485	1360	279
Свині	7,9	1,2 – 6,0	28	65	251	1256	153
Птиця	230,3	7,5(×100 тварино-місце на рік)	140	64	2095	2095	1347

Оцінювання виходу гноєвої маси, посліду та біогазу сильно залежать від конкретно умов виробництва та технології. Зокрема, вихід гною залежать від віку тварин, а також від умов утримання. Наприклад, в залежності від умов вирощування, гній може мати більш високий вміст води, що є одним із ключових факторів при зброджуванні, так як великий вміст води зменшує інтенсивність виробітку біогазу з одиниці об'єма реактора. Часто вміст органічних сухих речовин є значно нижчим, за запропоновані значення. [2].

Серед залишків і відходів сільськогосподарського виробництва найбільш багатими необхідними для метанового бродіння поживними речовинами є екскременти тварин. Однак вони дуже відрізняються між собою як за наявністю окремих компонентів (табл. 1.2), так і за хімічним складом в залежності від виду тварин та корму, який ці тварини споживають (табл. 1.3). Крім того, відходи тваринництва в залежності від способу утримання тварин можуть включати в себе різну кількість води, підстилкового матеріалу і залишків корму [1].

Таблиця 1.2. Вміст органічних з'єднань в екскрементах тварин, що визначають протікання процесу бродіння

Джерело надходження	Швидкість розкладу в процесі бродіння		
	велика	середня	Мала
Корм	Крохмаль, цукор Глікоген Жирні кислоти Білок, пептиди Амінокислоти  Вітаміни Антибіотики	Целюлоза Геміцелюлоза Пектозани Пектин Хітин  Жири Масла	Лігнін  Целюлоза з лігніновою кіркою (солома) Кератин (волосся) Кутин Суберії Віск
Організм тварини	Слиз, кров Соматичні клітини Ферменти	Жовчні кислоти	Жовчні пігменти
Проміжні, кінцеві і хемо-синтетичні похідні продукти метаболізму тварин і мікроорганізмів	Органічні кислоти  Спирт	Індол  Скатола Феноли Полісахариди	Лігніно-протеїнові комплекси  Гумінові речовини

Таблиця 1.3. Склад екскрементів тварин (у % до сухої речовини)

Компонент	Екскременти			
	ВРХ	дійних корів	свиней	Курей
Органічна маса	77...85	77...85	77...84	76...77
Азот	2,3...4,0	1,9...6,5	4,0...10,3	2,3...5,7
Фосфор	0,4...1,1	0,2...0,7	1,9...2,5	1,0...2,7
Калій	1,0...2,0	2,4	1,4...3,1	1,0...2,9
Кальцій	0,6...1,4	2,3...4,9		5,6...11,6
Магній	0,5...0,6			0,9...1,1
C/N	9...15	9...15	9...15	9...15
Целюлоза		27,6...50,3	19,5...21,4	13,0...17,8
Сирий жир		2,9...4,3	3,5...4,0	2,4...5,0
Сирий протеїн		9,3...20,7	16,4...21,5	20,5...42,1
Лігнін	16...30	16...30		9,6...14,3

Якщо вихідний субстрат для зброджування містить інші рослинні залишки, необхідно звертати увагу і на їх склад (табл. 1.4). Тому в першу чергу необхідно враховувати характерні для визначуваних умов за високий

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вміст лігніну, який практично не розкладається мікроорганізмами і не приймає участь в процесі газоутворення. Тому вихід газу з екскрементів жуйних тварин, які потребують корм з високим вмістом клітковини, значно менший, а ніж з посліду курей та свиней. Хоча шляхом механічного, хімічного або теплового впливу лігнінові комплекси можна зробити доступними для біохімічного розкладу, але пов'язані з цим витрати роблять такі методи неможливими для використання у сільському господарстві [1].

В якості сировини для переробки в анаеробних умовах можуть бути використані різні відходи сільськогосподарського виробництва, які містять органічну речовину. Найбільш придатними у цьому відношенні є гнійні стоки тваринництва. [7, 8].

Таблиця 1.4. Склад соломи зернових (у % до сухої речовини)

Компонент	Ячмінна солома	Пшенична солома	Кукурудзяна солома
Органічна маса	93,8	94,4	91,7
Азот	0,56	0,46	1,20
Фосфор	0,08	0,09	0,16
Калій	1,40	0,79	2,32
Кальцій	0,29	0,14	0,19
Магній	0,10	0,07	0,30
C/N	84	90...165	30...65
Целюлоза	43,5	45,5	33,3
Сирий жир	1,7	1,6	1,7
Сирий протеїн	3,5	2,9	7,5
Лігнін	15...20	15...20	5,5

При використанні багатокомпонентних кормів кількість посліду збільшується на 30%. Загальний зміст зольності у посліді складає 15-16%.

При додаванні до посліду технологічної води у відношенні до їх об'єму 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 вологість рідкого гною досягає 90; 92; 94; 96; 98 %. Середня вологість посліду: у корів молочних порід – 88%, у биків, молодняка, м'ясного скота і телят – 86%, зольність сухої речовини – 16%. Вологість підстилкового посліду ВРХ в залежності від способу утримання тварин і кількості підстилки, що додається, орієнтовно може складати для корів молочних порід, молодняка і телят:

- а) у прив'язаному утриманні – 78, 72, 68%;
- б) при боксовому утриманні – 79, 78, 72%;
- в) у безприв'язному утриманні на глибокій підстилці – 69, 71, 70%.

Кількість гнійних стоків тваринницьких ферм залежить також і від підстилкових матеріалів, кількості технологічної води, залишків кормів і сторонніх домішок[13].

На сучасних тваринницьких фермах велику кількість води використовують для миття та дезінфекції технологічного обладнання підлоги. При безпідстилковому утриманні тварин у більшості випадків використовують гідравлічні системи видалення гною, для забезпечення надійної роботи яких також потрібна вода. Технологічна вода поступає у систему видалення гною та впливає як на кількість, так і на якість відходів [9].

Разом з відходами з тваринницьких приміщень треба також видаляти деяку кількість корму – це малоприсадатні в їжі домішки, а також корма, які були кинуті з годівниць і затоптані тваринами. Доля кормів, які надходять у відходи, як правило, не перевищує 10% від маси посліду[13].

Фізико-механічні властивості посліду залежать від раціону віку тварин та інших факторів, однак головним фактором є вологість посліду. Технологічна вода, яка поступає до системи, розріджує екскременти.

Зі збільшенням вологості різко знижується в'язкість рідкого посліду і крайня напруга здвигу. Матеріал стає більш рухливим, інтенсивніше

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



розтікається [13]. Від пропорцій вуглеводів, жирів та білків у відходах залежить вихід біогазу.

Вуглеводи звичайно знаходяться у формі полісахаридів та повинні розпадатися на дисахариди та моносахариди. Для цього потрібна більш тривала ферментація. Помітно знижує газовиділення присутність лігніну, так як він у процесі метанового бродіння практично не розкладається [10]. Вміст клітковини впливає на продукцію біогазу. Чим більш клітковини у відходах тим повільніше виділяється біогаз.

Гнойові відходи тваринництва це субстрати, придатні і часто використовувані при виробництві біогазу. Гнойові відходи, в більшості без підстилкові, завдяки більшому вмісту води, є підходящими для розбавлення інших, більш або менш концентрованих субстратів, що дає змогу перекачувати їх за допомогою насосів.

Крім того, складу гною характерна порівняно висока буферна ємність, що робить його придатним для попередження стрімким змінам рН в ферментері. В складі гною знаходяться в надлишку ряд важливих макро- та мікроелементів, потрібних для метаболітичних реакцій популяцій мікроорганізмів, що забезпечують метаногенез[29].

Разом з тим, використання гною як моносубстрату для продукування біогазу має деякі рамки. За високого вмісту води та, відповідно, пониженої концентрації органічного вуглецю, і збільшений вміст клітковини, питома швидкість виходу біогазу з одиниці об'єму біореактора є досить низькою. Це, в свою чергу, призводить до зниження енергетичної ефективності БГУ. Окрім цього, через понижене співвідношення (C:N), процес метаноутворення може значно сповільнитись за рахунок інгібування аміаком. Тому використання гною як моносубстрату для виробництва біогазу, зазвичай, з економічної точки зору є не вигідним, та потребує додавання косубстратів (табл. 1.5) [29].

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.5 Вихід метану при коферментації сировини різного походження [28]

Косубстрат	Співвідношення	Температура зброджування, T, °C	V (CH <sub>4</sub> ) на 1г СР
Гній ВРХ/силос кукурудзи	70:30	35°C	358±40
Гній ВРХ/солома пшениці	90:10	35°C	145±10
	80:20		159±20
	70:30		213±20
	60:40		188±20
Гній ВРХ/ячмінна солома	80:20	35°C	160±5

З вищенаведеної таблиці видно, що найкращим виходом за метаном  $358\pm40 \text{ см}^3(\text{CH}_4)/\text{г СР}$  характеризується співвідношення субстратів 70:30 – гній ВРХ/силос кукурудзи. Для гнойових відходів часто характерний надмірний вміст  $\text{NH}_4$  та не оптимальним для метаногенезу співвідношенням С:N. Натомість силос кукурудзи характеризується низьким вмістом  $\text{NH}_4$  та високими значеннями співвідношення С:N. Такий результат можна пояснити тим, що змішування гною ВРХ та силосу кукурудзи дасть оптимізувати компоненти суміш як за амонійним азотом, так і за показником С:N [29].

Якщо співвідношення С:N у посліді велике, то нестача азоту буде служити фактором, який обмежує процес метанового бродіння. Якщо вказане співвідношення мале, то виникає велика кількість аміаку, який є токсичним для бактерій. У процесі метанового бродіння співвідношення С:N постійно змінюється оскільки вуглевод виділяється з біогазом постійно, а азот зберігається у біореакторі і виходить тільки при вивантажуванні шламу [11].

Ступінь розпаду органічної речовини сільськогосподарських відходів у більшій мірі залежить від складу сировини, від того, скільки у ній біонерозкладної фракції. Так, наприклад, біорозкладання свинячого гною може досягати 90%, пташиного посліду – до 87%, ВРХ – 60-70%. На практиці отримання такого високого ступеню розпаду недоцільно.

Силосна кукурудза на сьогоднішній день є найважливішим видом культур для використання в біогазових установках. Кукурудзу називають ще рослиною С4 через великий вихід сухої маси. Необхідна для переробки цієї культури техніка як правило завжди є в наявності на підприємствах або добре відома і недорога. Кукурудза легко силосується і навіть при чистому використанні не викликає порушень в процесі роботи біогазових установок.

Сьогодні вже є спеціальні сорти для використання в біогазових установках. Ці сорти як правило дають більший вихід біомаси. Більш пізні сорти дозволяють також отримувати більш пізні врожаї. Оптимальним часом для збору врожаю є його готовність для силосування, перетравлення і погодні умови. Як правило кукурудза під час збору повинна мати вміст сухої речовини 28-35% і перебувати в стані між молочною стиглістю і придатністю для борошна. У сприятливих районах для вирощування від пізніх сортів можна отримати великий вихід з посівних площ в розмірі більш ніж 8000 М5 метану / га. Вихід від посівів силосної кукурудзи коливається між 120 і 270 центнерами / га, вихід газу мездие 300 і 380 літрами на кг органічного сухої речовини.

Ступінь розпаду для різних сільськогосподарських відходів змінюється в залежності від складу сировини, температури процесу, оптимальності протікання процесу, наявності інгібіторів і каталізаторів [13].

Шлам, який переробився, після процесу метанового бродіння сільськогосподарських відходів містить значну кількість споживних речовин і може бути використаний у якості добрив або кормових добавок.

Склад шламу, який перебродив, залежить від хімічного складу вихідної сировини, завантаженого у біореактор. В умовах, сприятливих для метанового бродіння, звичайно розкладається біля 70% органічної речовини і 30% міститься у залишку. Ця органічна частина зброженого залишку включає речовини трьох видів: речовини, які містяться у вихідних відходах і які захищені від бактеріального розкладу лігніном і кутином; нові бактеріальні клітини і невелика кількість летких жирних кислот [13].

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Доцільність метанового бродіння полягає у зберіганні в органічних або амонійних формах майже всього азоту, якій міститься у вихідній сировині. Це дає можливість застосовувати шлам, що перебродив, як добриво.

Гумусні матеріали, які утворюються, покращують фізичні властивості ґрунту. Покращується аерація, підвищується водоутримуюча і інфільтраційна здатність ґрунту, а також швидкість катіонного обміну. Залишки слугують джерелом енергії і поживних речовин для діяльності бактерій, що сприяє підвищенню розчинності важливих хімічних поживних речовин, які містяться у ґрунті [12].

Головними технологічними параметрами, що визначають ефективність процесу анаеробного зброджування, є хімічний склад сировини, температура та тривалість зброджування, навантаження за органічною речовиною, а також режим завантаження й перемішування вмісту камери бродіння [2].

На практиці, наі фермах використовують саме варіант накопичення та зберігання відходів – гній та послід накопичуються та зберігаються деякий час у лагунах. Після цього гній або послід вносяться на поля як органічне добриво.

Властивості залишків від бродіння, а також їх компонентів в основному визначаються використовуваними для анаеробного бродіння речовинами і процесом бродіння. На сільськогосподарських біогазових установках переважно викорис зуються рідкий гній великої рогатої худоби і свинячий, твердий гній великої рогатої худоби і свинячий, а також пташиний послід з птахоферм. У меншій мірі використовуються місцеві добрива від утримання курей-несучок в зв'язку з високим вмістом амонію і залишки підгодівлі звісткою. Тільки невелика кількість експлуатаційних в біогазових установок використовують виключно енергетичні рослини, що пов'язано з положеннями ЄС про компенсацію, незважаючи на це назвемо давно відомі і цінні ефекти бродіння місцевих добрив на властивості залишків від бродіння.

Умовою для використання містяться в залишках від бродіння цінних і поживних речовин є зберігання у відповідних резервуарах. Під час зберігання

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залишків від бродіння як і у випадку з необробленими місцевими добривами виділяються впливають на клімат газу, такі як метан ( $\text{CH}_4$ ) і закис азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ), а також аміак ( $\text{NH}_3$ ) і пахучі речовини.

Достатнє постачання фауни ґрунту органічними речовинами, а також адаптоване до потреби рослин і типу ґрунту постачання поживними речовинами є основними умовами збалансованого використання сільськогосподарських ґрунтів. Внаслідок підвищення цін на мінеральні добрива в останні роки був досягнутий поріг рентабельності для транспортування і використання залишків від бродіння і місцевих добрив, так що залишки від бродіння як правило вже цікаві для перевезення через що містяться в них поживних речовин. Крім того, стратегії внесення добрив з використанням залишків від бродіння і місцевих добрив легше піддаються оцінкою щодо їх енергетичного балансу, ніж стратегії, які ґрунтуються виключно на мінеральних добривах.

Вплив обробітку енергетичних рослин і добрива залишками від бродіння на систему гумусу ґрунтів сільськогосподарського використання до сих пір в рамках багаторічних досліджень не встановлено. Тому його оцінку найкраще робити на підставі балансів гумусу. За допомогою цього розрахункового методу можна оцінити вплив поточного використання ґрунту на розвиток системи гумусу протягом короткого для ґрунту терміну приблизно в 10 років. В розрахунку також враховуються оброблювані культури, проміжні культури, а також органічні добрива. При цьому мова йде в основному не про те, щоб визначити абсолютні значення змін в системі, а про відносну оцінку ступеня постачання. мета розрахунку полягає в тому, щоб визначити, чи веде потреба в гумусі (споживають гумус види рослин, які сприяють розкладанню органічної речовини) і збільшення обсягу гумусу (збільшують обсяг гумусу види рослин, які сприяють репродукції органічної речовини) до врівноваженого балансу. Тобто в залежності від виду рослин обсяг гумусу може зменшуватися або збільшуватися. При цьому розмір

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відхилення сальдо балансу гумусу впливає на швидкість, на якій досягається типове для конкретного місця і використання стан системи гумусу. Оцінка репродукції гумусу здебільшого базується на експертних оцінках.

Гноєві відходи багаті на азот, фосфор та інші поживні речовини, які при потраплянні у воду роблять її непридатною для питного водопостачання, завдають шкоди водно-болотним угіддям та водним екосистемам. Зокрема, перенасичення поживних речовин у воді спричиняє евтрофікацію – надлишок азоту, фосфору та інших поживних речовин, починають активно рости та розмножуватися водорості, відбувається «цвітіння» водоростей, які використовують кисень у воді. За відсутності кисню гине риба та інші мешканці водойм [2].

Гній та послід також містять патогени, бактерії, стійкі до антибіотиків, і тому можуть стати причиною поширенням хвороб. Близько половини всіх антибіотиків у світі використовуються саме в тваринництві для запобігання хворобам. Надмірне використання антибіотиків на фермах призводить до виникнення та поширення вірусів та бактерій, стійких до антибіотиків.

Через гній або послід вони потрапляють до навколишнього середовища і спричиняють захворювання тварин та людей.

Наприклад, у відходах промислових ферм може міститися метицелін-резистентний стафілокок – смертельно небезпечна бактерія, стійка до антибіотиків. Метицелін-резистентний стафілокок є збудником таких захворювань, як сепсис, пневмонія [2].

З лютого 2011 року Україна є членом Європейського Енергетичного Співтовариства. Енергетичне Співтовариство було засновано 1 липня 2006 року. Члени Енергетичного Співтовариства зобов'язалися лібералізувати свої енергетичні ринки і запровадити найважливіші законодавчі норми ЄС у галузях електроенергетики, газу, охорони навколишнього середовища і поновлюваних джерел енергії.

Як член Європейського Енергетичного Співтовариства Україна також повинна виконувати регуляторні і правові рамкові умови щодо загальних

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

принципів функціональності внутрішнього ринку газу, які відповідають європейській Директиві 2003/55/ЄС «Стосовно спільних правил внутрішнього ринку газу». Директива передбачає, зокрема, таке: «держави-члени гарантують, що з урахуванням необхідних вимог до якості, біогаз та газ, отриманий від біомаси, або інші види газу будуть отримувати недискримінаційний доступ до газової системи, за умови, що такий доступ буде постійно задовольняти вимоги відповідних технічних норм та стандартів безпеки.

Дані стандарти мають гарантувати, що такі гази без будь-яких технічних перешкод зможуть бути введені до та транспортовані по системі природного газу; дані норми та стандарти повинні визначати хімічні характеристики подібних газів». Директива ЄС (2003/55/ЄС) повинна була бути впроваджена в українське законодавство до 1 січня 2012 року [14].

## 1.2 Обґрунтування вибору технології

Виробництво біогазу – ефективна й інвестиційно приваблива технологія, але Україна перебуває на стартовому етапі впровадження відновлюваних джерел енергії, а науково-технічні проблеми виробництва та використання біогазу є не досить формальними. Тому, вивчення, аналізування та запозичення досвіду виробництва біогазу в світі та впровадження його на агрономічних підприємствах України набуває особливої актуальності.

Загальними перевагами запровадження біогазових установок є:

- зменшення використання викопних непоновлюваних джерел енергії;
- зменшення навантаження на природне середовище токсичними речовинами та парниковими газами;
- знешкодження відходів після вирощування тварин;
- виробництво екологічного і чистого органічного добрива;
- економія коштів в разі закупівлі паливно-енергетичних ресурсів.

Водночас існують вагомі аргументи не на користь біогазу:

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- біогаз містить 30–40 об.% CO<sub>2</sub>, решта, не враховуючи домішок, — метан. У перерахунку на масу біогаз містить лише 30–46 мас.% метану, тобто біогазові установки продукують, в основному, CO<sub>2</sub>. Щоб виділити чистий біометан, окрім біогазових виробництв потрібно буде споруджувати потужні очисні заводи або установки відповідними блоками;
- біогаз значно дорожчий від природного;
- розрахунки показують: за оптимальних умов бродіння відходів можна одержати 900 м<sup>3</sup> біогазу за рік від однієї корови, що є еквівалентним 600 л бензину. Якщо ж врахувати, що умови одержання біогазу, як правило, не є оптимальними, дійсна картина виглядає вельми песимістично. Експерти зробили висновок, що одержання біогазу є рентабельним лише у разі перероблення відходів великих тваринницьких ферм (не менше 2000 голів);
- процес метаногенезу є непрогнозованим і важко піддається регуляції.

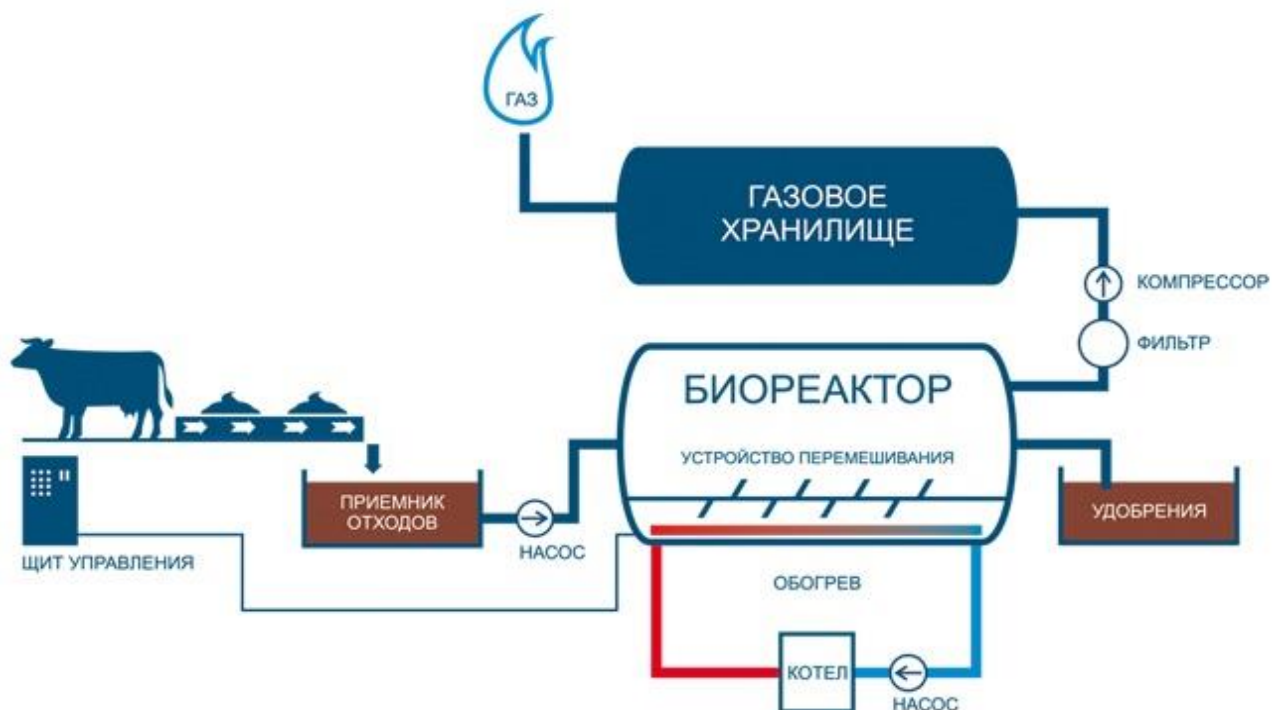


Рис. 1.1 Схема роботи БГУ на тваринних відходах



### 1.2.1 Одно- та багатоступінчастий процес

Зазвичай процеси розкладу речовин в процесі метаногенезу протікають без розділення в часі та просторі. Такі технології називають одноступінчастими (рис. 1.1) [21].

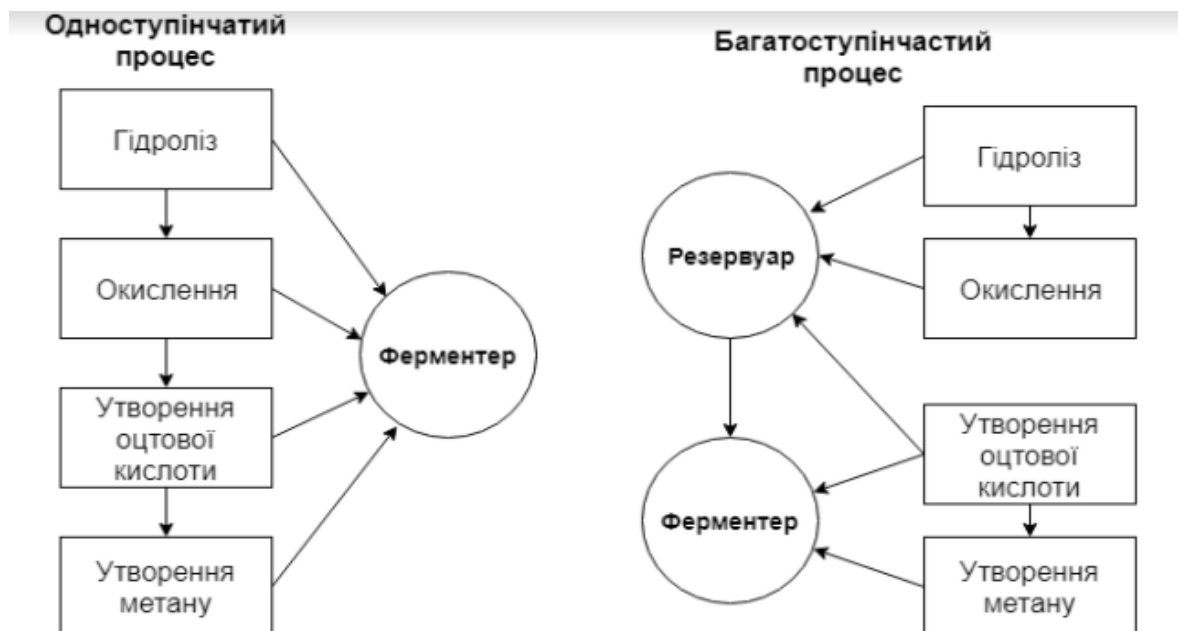


Рис. 1.2 Одно- і багатоступінчастий процес [21]

Для субстратів які швидко розщеплюються, які через це мають схильність до окислення, рекомендовано для гідролізу і окислення залучати окремий резервуар, щоб з нього продукти розкладання дозовано подавати у ферментер. Таким чином можна досягти більшого виробництва біогазу. Крім того, гази, що не використовуються, завдяки такому розділу можна відокремлювати біофільтром, відділяючи , таким чином, газ з високим вмістом метану [21].

У таких випадках перший резервуар виступає справжнім ферментером, обладнаний опаленням, мішалками, розрахований на короткострокове бродіння і використання субстратів, що швидко розкладаються. У другому резервуарі, ферментері без опалення, відбувається утворення газу з субстратів, що розкладаються не так швидко, а відповідно і процес бродіння в ньому триває довше [21]. Хоча розділ фаз найкращим чином відповідає

умовам життєдіяльності бактерій і має свої переваги, такі двоступеневі технології не мають великого поширення.

Додаткові витрати на другий резервуар, на системи змішування, опалення та насоси можуть окупитися лише для певних видів субстратів.

Головними технологічними параметрами, що визначають ефективність процесу анаеробного зброджування, є хімічний склад сировини, температура та тривалість зброджування, навантаження за органічною речовиною, а також режим завантаження й перемішування вмісту камери бродіння.

### 1.2.2 Мезофільне та термофільне зброджування

Швидкість процесу бродіння є в залежності від температури. Важливим є те що вище температура, то швидше відбувається розкладання.

Температурні режими, в яких себе добре відчують відповідні штами бактерій:

- психрофільні штами при температурі нижче 25°C;
- мезофільні штами при температурі 25-45°C;
- термофільні штами при температурі понад 45°C.

У виробничій сільгосппрактиці сформовано два основних напрями розвитку технологій отримання біогазу та відповідного обладнання:

- субстрат зброджують в мезофільному режимі у вертикальних реакторах робочим об'ємом 1000 м<sup>3</sup> і більше;
- субстрат зброджують в термофільному режимі в модульних реакторах робочим об'ємом до 120 м<sup>3</sup>.

Мезофільний режим зброджування, протікає більш інтенсивно в температурному проміжку 32...42 °C. При цьому найбільш активно «працюють» метаногенні бактерії з максимальним утворенням біогазу. [20].

Вплив температури на активність бактерій показано на рисунку 1.2. Чим вище температура, тим чутливіші бактерії до її коливань. Це чітко видно з відносно вузького максимуму кривої і її стрімкого падіння при термофільному режимі. У той час як при мезофільному режимі щоденні

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коливання температури в 2-4 °С ледве мають вплив на бактерії, то в термофільному такі коливання повинні бути не більше 1 °С. Одноразове розміщення погано ущільненого матеріалу, може викликати таку зміну температури на 1 °С [21].

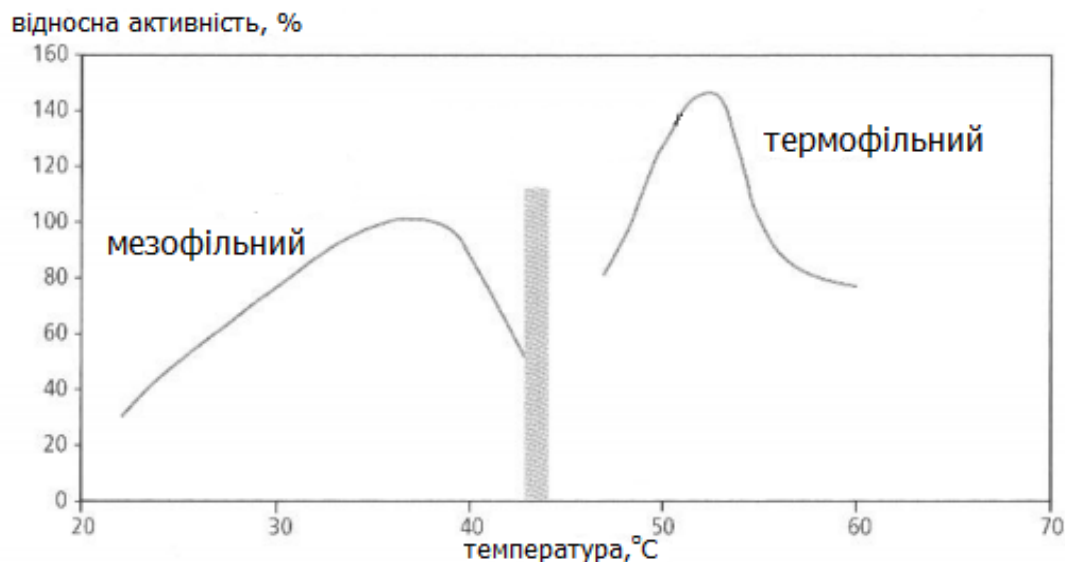


Рис. 1.3 Вплив температури на активність бактерій [21]

Термофільні бактерії продуктивніші, ніж мезофільні. Завдяки цьому, за однакової кількості виробленого біогазу ємність біореакторів необхідна значно менша [25].

Застосування мезофільного режиму є більш доцільним. В порівнянні із термофільним режимом він є економічно вигіднішими та дешевшим, а також виробництво біогазу з метою подання його в газорозподільні мережі потребує більших об'ємів реакторів, які найбільшого поширення набули при застосування мезофільного режиму [20]. Тому, зазвичай прийнято використовувати для метанового зброджування органічних відходів мезофільні умови [25].

### 1.2.3 «Сухий» та «мокрый» метод бродіння

Метод, при якому відбувається бродіння субстрату з 50% вологістю, називають сухою ферментацією.

Установками по зброджуванню твердих субстратів є такими, в яких субстрат подається в штабельованому вигляді в ферментер, де і проходить процес бродіння без подальшого його пересування.

Просочений бродильною рідиною субстрат перебуває в резервуарі протягом усього часу бродіння і по закінченню процесу в такому ж вигляді без додаткових маніпуляцій (напр. сепарування) виймається з ферментатора.

У минулому робилося багато спроб по переробці сільськогосподарських субстратів в твердому вигляді, тобто без додаткової рідини. Різні методи, як наприклад DRANCO (з англ. Dry Anaerobic Composting - сухе анаеробне компостування), компогаз, ATF (з нім. - анаеробна суха ферментація), а також метод А-3 (анаеробне-аеробне-анаеробне) були розроблені для бродіння біовідходів.

Подальші експерименти проводилися в Швейцарії Веллінгером в 90-х рр. по застосуванню методу ANACOM. У ньому вдавалися до подачі твердої речовини через обігрівачу трубу зверху в ферментер об'ємом 10 м<sup>3</sup>. Переброджений субстрат знизу виводився за допомогою донного скребкового транспортера.

Більшість біогазових установок в усьому світі працюють за проточним методом. Цей метод в порівнянні з іншими відрізняється тим, що бродильна камера завжди заповнена і спорожняється лише для ремонтів або видалення осадів. З невеликого резервуара попереднього зберігання вноситься рідкий свіжий субстрат, а тверді субстрати вносяться за допомогою спеціальних пристроїв у бродильну камеру багаторазово протягом дня, хоча в той же час автоматично на переливі резервуара точно така ж кількість перебродженого субстрату переходить в резервуар-склад або перекачується в нього.

Розщеплення органічних речовин на окремі складові і перетворення їх на метан можуть відбуватися лише у вологому середовищі, оскільки бактерії

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здатні переробляти лише речовини у розчиненому вигляді. Отже, для процесу бродіння твердих субстратів потрібно додавати воду [25].

#### 1.2.4 Установки для зброджування

Виходячи із характеру процесу бродіння і його технології, до метантенків пред'являють наступні вимоги: абсолютна герметичність стінок, що перешкоджає газообміну; непроникність для рідин; збереження міцності в статичному стані при дії власної сили тяжіння і маси субстрату, що завантажується; досконала теплоізоляція; корозійна стійкість; надійність завантаження і спорожнення; доступність внутрішнього простору для обслуговування [25]. Метантенки, як правило, бувають горизонтальної і вертикальної конструкції [26].

Горизонтальне розташування метантенка має ту перевагу, що можна застосовувати потужні, надійні в експлуатації і енергозберігаючі механічні мішалки, в результаті чого досягається хороший ефект перемішування. Завдяки пробковій подачі сировини складаються сприятливі умови з точки зору біології процесу. Можливим є велике завантаження метантенка (до 7-10 кг органічної сухої речовини на 1 м<sup>3</sup>). Недоліком метантенків із горизонтальним розташуванням є велика потреба в площі під резервуар.

Лежачі метантенки на сьогоднішній день обмежені в своєму об'ємі до 1000 м<sup>3</sup>. Іншими недоліками таких метантенків є велика площа поверхні в порівнянні з об'ємом (з відповідно високими тепловтратами) і брак культури бактерій перебродженого біошламу для свіжого субстрату. Для рідкого або твердого гною ВРХ це не грає жодної ролі, оскільки в такому субстраті спочатку міститься достатня кількість метаноутворюючих бактерій. Гній свиней, енергетичні рослини або органічні відходи, що не містять або містять невелику кількість анаеробних бактерій, при використанні пробкового проштовхування сировини мають бути "заквашені" перебродженим субстратом, що можна зробити в резервуарі попереднього зберігання або за допомогою автоматичної системи подачі закваски [26].

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метантенки з горизонтальним розташуванням виготовляються переважно у вигляді циліндричних металевих баків і розміщуються над поверхнею ґрунту [26]. Метантенки вертикального розташування з міркувань статистики переважно мають круглу форму поперечного перетину.

В порівнянні з горизонтальним варіантом вони більш компактні, мають вигідніше співвідношення площі поверхні до об'єму, що зменшує витрати матеріалів і тепловтрати. Вони не обмежені в своїх об'ємах. На сьогоднішній день можна будувати метантенки об'ємом до 6000 м<sup>3</sup>. Вимоги до змішувачів високі, оскільки в цьому випадку повинна створюватись сильна течія, необхідна для досягнення гомогенізації [26].

Недоліком метантенків вертикального розташування є те, що не можна досягти пробкового проштовхування.

Ступінь завантаження метантенка залежить від розмірів резервуару, типу мішалок і їх потужності, а також від виду субстрату, і становить до 4 кг органічної сухої речовини на 1 м<sup>3</sup> [25].

На сьогоднішній день відомі метантенки в формі яйцеподібного, кубічного, циліндричного, циліндричного з конусною верхньою або нижньою частиною і горизонтального резервуарів, а також в вигляді виритої в ґрунті герметичної траншеї (рис. 1.3) [25].

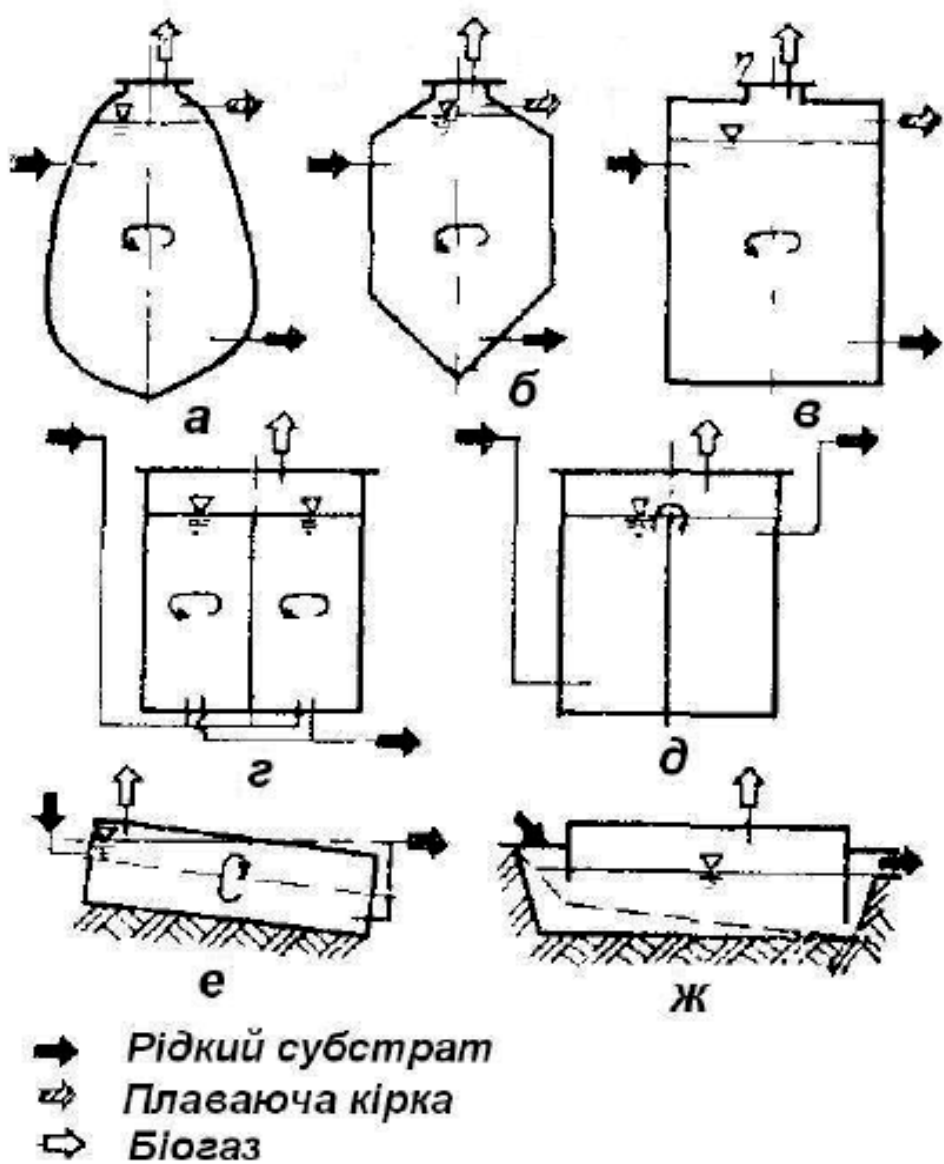


Рис. 1.4 Форми метантенків: а – яйцеподібна; б – циліндрична з конусною верхньою або нижньою частинами; в – циліндрична; г – циліндрична з перегородкою; д – кубічна; е – горизонтальна; ж – у вигляді виритої в ґрунті траншеї [25]

У горизонтальному метантенку (рис. 1.4,е) субстрат переміщується і переміщується в по довжині, причому для невеликих установок можна використовувати циліндричної будови біореактори, виготовлені зі сталі або склопластика. Перемішування субстрату відбувається за допомогою горизонтальної мішалки [25].

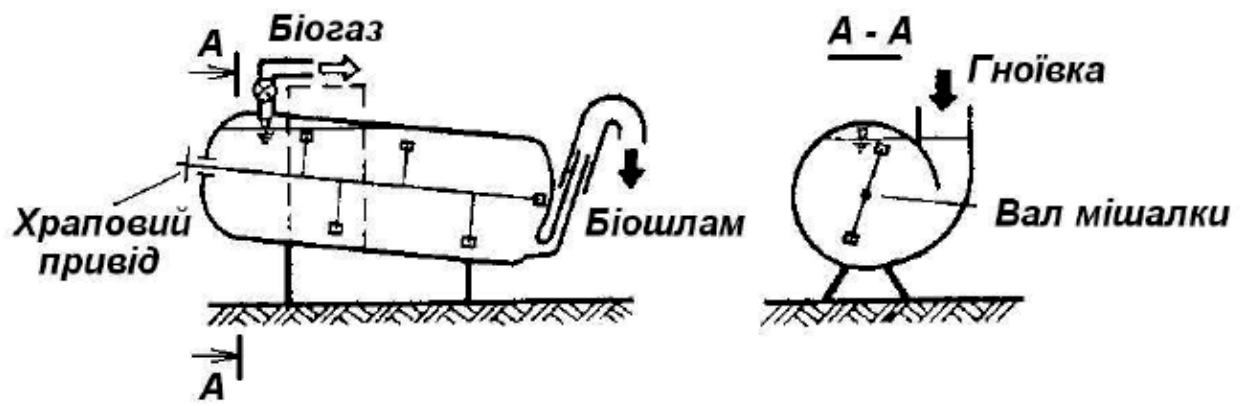


Рис. 1.5 Горизонтальний метантенк з перемішуючим пристроєм [25]

Нахил резервуару дозволяє полегшити вивантаження біошламу. В даному типі конструкції можливе використання простого механізму перемішування [26].

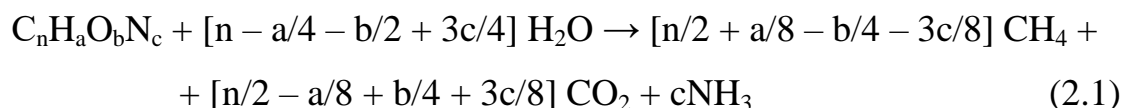


## 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

### 2.1 Схема перебігу процесів

Метанове зброджування – це процес розкладення органічних речовин до кінцевих продуктів, здебільшого метану та вуглекислого газу в результаті життєдіяльності складного комплексу мікроорганізмів в анаеробних умовах. За оптимальних умов ці гази можуть утворюватись у кількості, рівній 90-95% органічної речовини, що біологічно розкладається. Решта 5-10% витрачається на відтворення бактеріальних клітин [25].

Хімічне рівняння повного перетворення органічної речовини у кінцеві продукти було запропоновано Басвеллом:



Біогаз є продуктом обміну речовин бактерій, що утворюється шляхом розкладу органічних субстратів (рис. 2.1). Процес розкладання можна розділити на чотири етапи, у кожному з яких беруть участь різні групи бактерій:



Рис. 2.1 Схема метаногенезу

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ			
Розроб.	Любецький О.В.							
Конс.								
Керівн.	Щирська К.О.							
Затверд.	Щирська К.О.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп			
					Літ.	Арк.	Аркушів	
						35	129	

Перший етап характеризується анаеробним зброджуванням органічних речовин шляхом біохімічного гідролізу, спочатку відбувається розкладання високомолекулярних сполук на низькомолекулярні органічні сполуки [34].

Складні полімери, такі як вуглеводи, білки і ліпіди, розкладаються на мономери позаклітинними ферментами, виділеними в середовище мікроорганізмами (наприклад: целюлаза, амілаза, протеаза і ліпаза) [35].

Білки руйнуються до амінокислот, невеликих за розміром пептидів, аміаку і  $\text{CO}_2$ , як правило, розкладаються за допомогою протеаз, які виділяють *Bacteroides*, *Butyrivibrio*, *Clostridium*, *Fusobacterium*, *Selenomonas*, *Streptococcus*.

Загалом, полісахариди перетворюються на прості цукри, що можуть бути мономерні або димерні. Крохмаль розкладається до глюкози. Гідроліз целюлози відбувається під дією ферментного комплексу целюлази, з утворенням глюкози (рис.2.2). Геміцелюлоза розкладається спеціальними ферментами до різних моносахаридів, таких як глюкоза, галактоза, ксилоза, арабіноза і маноза.

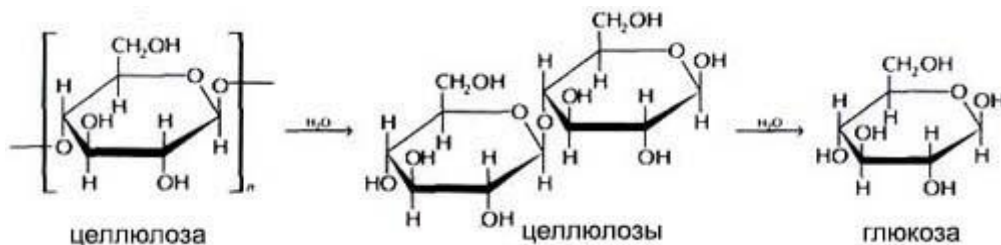


Рис. 2.2 Схема гідролізу целюлози [36]

Ліпіди під дією ліпази та фосфоліпази гідролізують до коротко- та довголанцюгових жирних кислот. Клостридії та мікрококи вірогідно, відповідають за виробництво позаклітинної ліпази.

Гідролітичні і ферментативні бактерії включають як облігатні, так і факультативні анаероби. Ця група бактерій, також відповідає за видалення невеликої кількості кисню, що вводиться при завантаженні реактора.

На другому етапі за участю кислотоутворюючих бактерій відбувається подальше розкладання з утворенням органічних кислот і їх солей, а також спиртів,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$ , а потім  $\text{H}_2\text{S}$  і  $\text{NH}_3$ .

Під час кислотогенезу цукри, довголанцюгові жирні кислоти і амінокислоти, що утворились в результаті гідролізу, використовуються як субстрат для мікроорганізмів, які перетворюють їх на органічні кислоти, такі як оцтова, пропіонова, масляна і інші коротколанцюгові жирні кислоти, спирти,  $\text{H}_2$  і  $\text{CO}_2$  [37].

Під час метаболізму глюкози утворюються проміжні продукти, наприклад, піровиноградна кислота, яка є результатом перебігу анаеробного бродіння по шляху Ембдена-Мейерхофа-Парнаса (рис. 2.3).

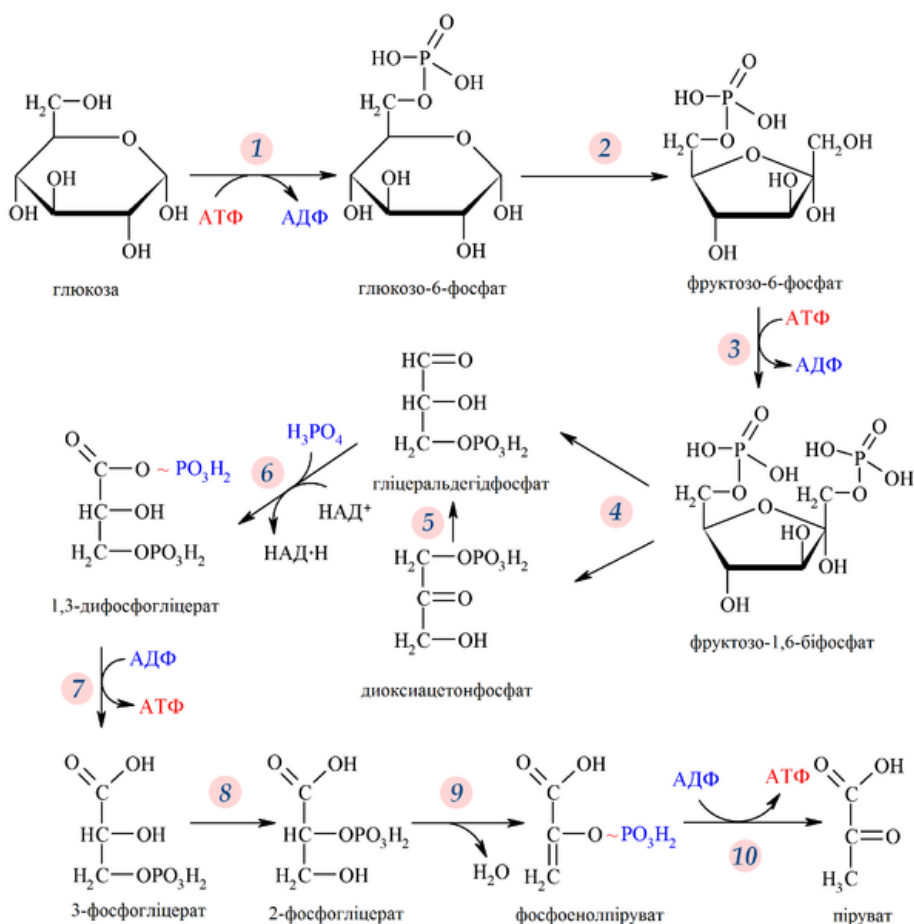


Рис. 2.3 Загальна схема гліколізу 1 – гексокіназа, 2 – фосфоглюкоізомераза, 3 – фосфофруктокіназа, 4 – альдолаза, 5 – триозофосфатізомераза, 6 – гліцеральдегід-3-фосфатдегідрогеназа, 7 – фосфогліцераткіназа, 8 – фосфогліцеромутаза, 9 – енолаза, 10 – піруваткіназа [34]

В залежності від анаеробних мікроорганізмів та умов середовища в реакторі, наступний етап ферментації пірувату може призвести до утворення великої кількості C1 – C4 сполук, таких як леткі жирні кислоти (ЛЖК), наприклад, оцтової, пропіонової і масляної кислот, інших органічних кислот (мурашиної та молочної), спиртів, кетонів, альдегідів [38]. Амінокислоти можуть також слугувати енергоносіями і джерелами вуглецю для строгих або факультативних анаеробних бактерій.

Кислотогенез, як правило, найшвидша стадія анаеробного перетворення складних органічних речовин. У стаціонарному стані в процесі анаеробної деградації, основні шляхи перетворення проходять через ацетат, діоксид вуглецю і водень, і ці продукти бродіння можуть бути безпосередньо використані для синтезу метану. Накопичення речовин, таких як лактат, етанол, пропіонат, бутират і вищі ЛЖК є реакцією бактерій на збільшення концентрації водню в середовищі [39].

Концентрація і співвідношення окремих ЛЖК, які утворюються на етапі кислотогенезу, відіграє важливу роль в загальній продуктивності системи анаеробного бродіння, так як оцтова та масляна кислоти є переважними прекурсорами для утворення метану [40].

Процес гідролізу та кислотогенезу в двостадійній установці проходить в реакторі №1, що має назву кислотогенного реактора. Процеси гідролізу і окиснення, необхідні для подальшого утворення біогазу [41].

Наступною стадією процесу анаеробного бродіння є ацетогенез.

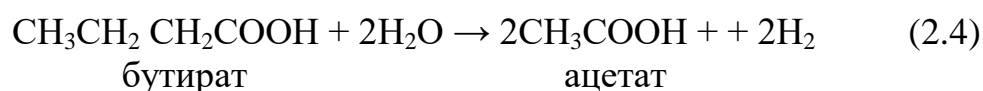
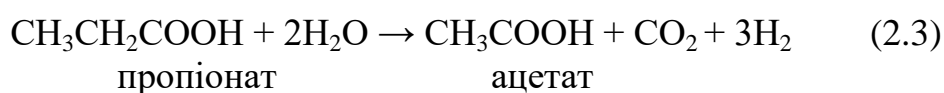
Ацетогенні бактерії перетворюють пропіонову, масляну і валеріанову кислоти в ацетат, форміат, діоксид вуглецю і водень. Це проміжне перетворення має важливе значення для успішного виробництва біогазу, оскільки метаногени не використовуюють безпосередньо ці речовини (пропіонову, масляну і валеріанову кислоти).

Ацетогени дуже повільно ростуть, чутливі до коливань органічних навантажень, також чутливі до змін навколишнього середовища [42].

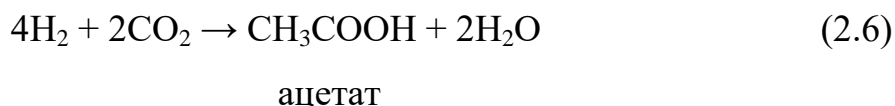
					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, на ацетогенній стадії бродіння утворюються основні безпосередні попередники метану: ацетат, водень, вуглекислота. Розкладання продуктів кислотогенної стадії здійснюють, як правило, облігатні протон-відновлюючі або облігатно-синтрофні бактерії, що потребують партнерів, які використовують водень. Відповідні реакції для цих бактерій приведені нижче.

Реакції ацетогенної стадії, за участі ацетогенів, що утворюють  $H_2$ :



Реакції ацетогенної стадії, за участі ацетогенів, що використовують  $H_2$ :



Остаточне бактеріальне перетворення органічних речовин в  $CO_2$  і  $CH_4$  здійснюється на четвертому етапі процесу (метанове бродіння). Крім того, з  $CO_2$  і  $H_2$  утворюється в подальшому додаткову кількість  $CH_4$  і  $H_2O$ . Метаноутворюючі бактерії значно більш вимогливі до умов середовища, ніж кислотоутворюючі. Для метаногенів найбільш сприятливими умовами є  $pH$   $7 \pm 0,5$ , а також постійність температури і тиску, відсутність світла.

Метаногени можуть використовувати як джерела енергії і вуглецю обмежену кількість субстратів: вуглекислий газ в сумі з воднем, форміат, метанол, ацетат, моно-, ди- і триметиламіни.

Нижче наведено основні реакції утворення метану:

1.  $4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$
2.  $4CH_3COO^- + 4H^+ \rightarrow CH_4 + 2H_2O + 3CO_2$

3.  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$
4.  $4\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
5.  $4\text{CH}_3\text{NH}_3^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{NH}_4^+$
6.  $2(\text{CH}_3)_2\text{NH}_3^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{NH}_4^+$
7.  $4(\text{CH}_3)_3\text{NH}_3^+ + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 9\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 4\text{NH}_4^+$
8.  $4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$

Серед них найбільш важливою є реакція з ацетатом, тому що з нього утворюється більше 70% метану. За ацетатом слідує вуглекислий газ + водень, форміат, метанол, метиламіни, метилкарболамін [43].

Оскільки метаногенні археї 90-95% використовуюваного вуглецю перетворюють на метан, то лише 5-10% вуглецю йде на зростання біомаси. Організми першої підгрупи (*Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* і *Clostridium*) використовують  $\text{H}_2 + \text{CO}_2$ , до них відносяться більшість метанових архей, деякі з них здатні також використовувати форміат. Друга підгрупа представлена метаногенами, що використовують ацетат.

Здійснювати реакцію 3 здатні представники тільки двох родів *Methanosarcina* і *Methanosaeta* (раніше *Methanothrix*), причому для *Methanosaeta* ацетат є єдиним субстратом до якого вони мають дуже високу спорідненість і який повністю забезпечує їх енергією та поживними елементами для здійснення процесів розмноження та росту. Біомаса бактерій роду *Methanosarcina* подвоюється за 20-30 год, роду *Methanosaeta*- за 200-300 год.

Для того, щоб бактерії могли добре працювати при анаеробному процесі їм потрібно створити певні життєві умови, які описані нижче.

#### Вологе середовище

Метанові бактерії можуть жити і розмножуватися, коли субстрати в достатній мірі розчинені у воді (в складі мінімум 50% води). На відміну від аеробних бактерій, дріжджів і грибів вони не можуть існувати в твердій фазі. Тому для так званих технологій твердих процесів є необхідність в зволоженні

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу, хоча спочатку несуттєво, чи є субстрат спочатку вологим або став таким шляхом зрошення або змішування [21].

#### *Виключення проникнення повітря*

В анаеробному процесі розщеплення органічних субстратів приймає участь цілий ряд мікроорганізмів. Близько 50% бактерій є аеробними або факультативно аеробними і вимагають або добре переносять кисень. Це відбувається на першому етапі процесу утворення біогазу. Тому невелика кількість кисню, яка проникає при відкриванні оглядових отворів, не є шкідливим [21].

Набагато важливішим є окислювально-відновний потенціал. Окислювально-відновний потенціал являє собою ступінь готовності іонів приймати електрони. Для росту анаеробних бактерій цей потенціал повинен знаходитися на дуже низькому рівні (-0,1V). Оскільки кисень має високий окислювально-відновний потенціал (+1,78), то це спочатку шкодить анаеробним бактеріям.

#### *Виключення потрапляння світла*

Хоча світло і не є для бактерій смертельним, воно уповільнює процес. Виключити вплив світла на процес на практиці можливо за допомогою світлонепроникної кришки [21].

#### *Рівень pH*

У той час, як гідролізуючі і кислотоутворюючі бактерії в кислому середовищі з рівнем pH 4,5-6,3 досягають оптимуму своєї активності, бактерії, що утворюють оцтову кислоту і метан можуть жити тільки при нейтральному або слабколужному рівні pH 6,8-8. Для всіх бактерій дійсним є наступне: якщо рівень pH перевищує оптимальний, то вони сповільнюють свою життєдіяльність, що уповільнює утворення біогазу.

Для одноступінчатих технологій слід витримувати рівень pH для метаноутворення (оптимум 7). На рівень pH можна впливати кількістю субстрату і його видом. Субстрати, які швидко окислюються, призводять до

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різкого падіння рівня рН, тому їх слід додавати тільки в обмеженій кількості і поступово [21].

### *Подача живильних речовин*

Бактерії, для утворення своїх клітин вимагають поживних речовин, вітамінів, розчинних сполук азоту, мінеральних речовин і мікроелементів. Ці речовини в потрібній кількості містяться в рідкому і твердому гної. Як орієнтовного значення для змішування субстратів можна взяти такі співвідношення поживних речовин:

- C: N: P = 75: 5: 1 або 125: 5: 1
- C: N = 10: 1 або 30: 1
- N: P = 5: 1

Співвідношення C:N показує загальне співвідношення вуглеводів із загальним вмістом азоту. На один відсоток фосфору припадають 5% азоту і 75-125% вуглецю. Оптимальне співвідношення вуглецю до азоту становить 30:1 і 10:1. Якщо співвідношення падає до рівня 8:1, то в зв'язку з великим вмістом амонію в субстраті сповільнюється розвиток бактерій через аміак [21].

Для оптимальної життєдіяльності бактерій також є необхідність в невеликій кількості важких металів і мікроелементів. В той же час важкі метали можуть мати стримуючий або навіть токсичний вплив [21].

Нікель, кобальт, молібден, вольфрам і залізо є особливо необхідними бактеріям для утворення ензимів. З цього випливає, що процес утворення біогазу може відбуватися з широким спектром поживних речовин з низькою або високою їх концентрацією. Цей факт підтверджує також досвід з практики, що через певний період часу бактерії звикають навіть до несприятливих умов проживання. Багато мікроелементів утворюють разом із сіркою стійкі сульфіді і тому може виникнути їх нестача [21].

Багато мікроелементів утворюють разом із сіркою стійкі сульфіді і тому може виникнути їх нестача. Нестача заліза як і для рослин можна дізнатися з того, що субстрат стає світлішим [21].

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### *Уповільнюючі речовини*

Цілий ряд субстанцій може уповільнити або й зовсім припинити обмін речовин і зростання мікроорганізмів. Деякі речовини пошкоджують оболонку клітин або структуру бактерій, інші речовини руйнують ензими обміну речовин клітини (важкі метали та ін.) [21].

Згубний вплив речовин принципово залежить від концентрації. Це означає, що стримуючим фактором є не повна відсутність певної речовини, а її концентрація в співвідношенні з іншими групами речовин.

- Кисень

Кисень може проникнути з недостатньо збагаченим подрібненим субстратом і шкодити метановим бактеріям [21].

- Антибіотики, хіміотерапевтичні і дезінфікуючі засоби

Антибіотики, хіміотерапевтичні та дезінфікуючі засоби можуть стримувати процес бродіння і привести до його повної зупинки, особливо при їх високої концентрації. Це може статися, якщо з усім поголів'ям або одночасно всі хліва почали дезінфікувати. В такому випадку уникнути проблеми допоможе байпасна лінія, що веде з хліва прямо до ємкості для зберігання. Препарати, що застосовуються до окремих тварин як правило не мають таких негативних наслідків [21].

- Органічні кислоти, карбонові кислоти, жирні кислоти

Стримуючий вплив робить також накопичення органічних кислот, які утворюються при анаеробному розкладанні органіки. Співвідношення органічних кислот, званих також летючими жирними кислотами, дає нам інформацію про стан процесу. При стабільному процесі утворення біогазу сума органічних кислот (їх також називають еквівалентами оцтової кислоти) нижче 2000 мг/дм<sup>3</sup>. Внаслідок занадто швидкої подачі свіжих або дуже легко розкладаючих субстратів може відбутись швидке окислення і накопичення кислот до рівня 16 000 мг/дм<sup>3</sup>. Крім того відбудеться негативна зміна співвідношення оцтової кислоти до пропіонової кислоти [21].

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Накопичення кислот призводить до цілого ряду реакцій, починаючи з того, що великі концентрації кислот стримують самі бактерії таким чином, що знижується рівень рН, що і викликає затримку розвитку метанових бактерій до повної зупинки процесу розкладання. Протидіяти цьому можна лише повним скороченням подачі субстрату. Також одноразова подача один раз в день, як це було прийнято раніше, веде до сильного накопичення органічних кислот, які проте розкладаються протягом дня [21].

- **Сірководень**

При розкладанні сірковмісних субстратів (переважно білків) утворюється високотоксичний практично для всіх живих істот сірководень ( $H_2S$ ). Чим нижче рівень рН, тим вище відсоток  $H_2S$  в субстраті і біогазі, і тим вище токсичний потенціал. Якщо вміст  $H_2S$  в газі перевищує 2 000 мг/кг, то варто очікувати затримки розвитку бактерій. У сірковмісних субстратах можуть з'являтися штами бактерій, які використовують водень для утворення сірководню. Вони будуть конкурувати з метановими бактеріями за водень. Таким чином зменшується метаноутворення [21].

Незважаючи на це сірка є важливим поживним елементом субстрату, оскільки вона необхідна для утворення біомаси бактерій [21].

## 2.2 Характеристика кінцевого продукту

Готовим продуктом є біометан комунально-побутового призначення, який технологічними процесами доведений до характеристик природного газу згідно нормативно-технічного документа ДСТУ ISO 13443:2015 «Гази горючі природні для промислового і комунально-побутового призначення». Чистий біометан не володіє запахом і кольором [30]

Отримання біогазу відбувається в спеціальних, стійких до корозії циліндричних циліндрах – метантенках, в яких відбувається процес метанового бродіння. Його суть полягає в анаеробному бродінні (без доступу повітря), яке відбувається внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів і

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

супроводжується рядом біохімічних реакцій. Власне сам процес утворення біогазу відбувається в чотири етапи:

1. Гідроліз – хімічне розщеплення молекул при взаємодії з водою;
2. Ацидогенез – утворення з продуктів гідролізу водню, вуглекислого газу, спиртів та жирних кислот;
3. Ацетогенез – розкладення жирних кислот з утворенням оцтової кислоти, водню та CO<sub>2</sub>;
4. Метаногенез – оцтова кислота, водень і вуглекислий газ перетворюються за допомогою метаногенних архей на вуглекислий газ, метан і воду.

Виробництво біогазу потребує постійної підтримки мезофільного режиму (температури в 34-36°C), а також періодичного перемішування суміші, що зброджується.

У процесі бродіння відбувається виділення біогазу, який містить 40–70% метану (CH<sub>4</sub>), 30–60% вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), біля 1% сірководню (H<sub>2</sub>S) і невелику кількість азоту (N<sub>2</sub>), водню (H<sub>2</sub>) та аміаку (NH<sub>3</sub>), ароматичних та галогено-ароматичних вуглеводнів. Об'ємна теплота згоряння біогазу складає 22 МДж/м<sup>3</sup>.

Біогаз може застосовуватися по-різному і відкриває, таким чином, численні можливості використання:

- біогаз може застосовуватися на місці його виробництва у якості палива;
- з біогазу можна виробляти енергію. У той же час можна використовувати відхідне тепло, яке при цьому утворюється.
- Тому біогаз пропонує цікаві можливості для децентралізованого енергозабезпечення і є цікавою альтернативою, зокрема, для великих аграрних підприємств в Україні;
- біогаз, доведений до якості природного газу (біометану), може подаватися в загальну газорозподільну мережу, яка є відмінним шляхом транспортування біогазу до споживачів та енергонакопичувачів. На відміну

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від дорогих і неефективних можливостей накопичення перемінних резервів сонячної та вітрової енергії, газорозподільна мережа дозволяє майже без втрат поєднати виробництво і споживання енергії.

За фізико-хімічними показниками газу горючі мають відповідати вимогам та нормам (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 Технічні вимоги [30]

Найменування показника	Допустимі границі	Методи контролю
Нижча теплота згорання, МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> ), при 20°C, 101,325 кПа,	31,8 (7600)	ДСТУ ISO 6976:2009
Область значень числа Воббе (вищого), МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> )	41,2-54,5 (9850-13000)	ДСТУ ISO 6976:2009
Допустиме відхилення числа Воббе від номінального значення, %	±5	-
Масова концентрація сірководню, г/м <sup>3</sup>	0,02	ДСТУ ISO 6326-1:2015 ДСТУ ISO 6326-3:2015
Масова концентрація меркаптанової сірки, г/м <sup>3</sup>	0,036	ДСТУ ISO 6326-3:2015 ДСТУ ISO 19739:2015
Обємна частка кисню, %	1,0	ДСТУ ISO 6974-1:2007 ДСТУ ISO 6974-2:2007 ДСТУ ISO 6974-3:2007
Маса механічних домішок в 1 м <sup>3</sup> , г	0,001	ГОСТ 22387.4
Інтенсивність запаху газу при обємній частці 1% в повітрі, бал	3	ДСТУ ISO/TR 16922:2015 ДСТУ ISO 13734:2015

Транспортування біогазу доведеного до характеристик природного газу здійснюється по газопроводах через газорозподільні станції та пункти згідно з ДБН В.2.5-20-2010 «Газопостачання». Природний горючий газ може подаватися споживачам безпосередньо з промислової, газопереробних

заводів, магістральних газопроводів і станцій підземного зберігання газу через газорозподільні станції та пункти.

Щодо зберігання газу в Україні діє постанова «Про затвердження Типового договору на зберігання (закачування, зберігання, відбір) природного газу» відповідно до пункту 15 частини третьої статті 4 Закону України «Про засади функціонування ринку природного газу», підпункту 5 пункту 4 Положення про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики, затвердженого Указом Президента України від 23 листопада 2011 року № 1059.

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА

#### 3.1. Сировина та матеріали

В підрозділі наведено параметри, що регламентують вимоги до якості основної та допоміжної сировини, матеріалів та напівпродуктів, що використовуються при виробництві біогазу при сумісній утилізації целюлозовмісної сировини та гною (табл. 3.1.).

Таблиця 3.1 - Характеристика сировини, матеріалів та напівпродуктів

Найменування	Категорія і номер НТД, згідно якого перевіряється сировина	Показники, що обов'язкові для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
1. Основна сировина:			
1.1. Гній ВРХ	ДСТУ Р 53765-2009	-	-
1.2 Силос кукурудзи	-	-	-
2. Допоміжна сировина:			
2.1. Вода водопровідна	ДержСанПін 2.2.4-171-10	Вміст залишкового вільного хлору 0,3-0,5 мг/дм <sup>3</sup> , залишкового зв'язаного хлору – 0,8-1,2 мг/дм <sup>3</sup>	-
2.2 Тетрагідротіофен	ГОСТ Р 51330.19-99	-	-
2.3 Зріджена суміш (бутан+пропан)	ГОСТ 5191-79	Суміш газів пропану C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – до 30% и бутану C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> – до 70%	-
3. Матеріали:			
3.1 Балони для біометану	ГОСТ 15860-84	-	-
3.2 Мішки для гранульованого біодобрива	ГОСТ 23954-80	-	-

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.	Любецький О.В.				ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА			Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.									48	129
								КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп		
Керівн.	Щирська К.О.									
Затверд.	Щирська К.О.									

### 3.2 Опис технологічного процесу

Для забезпечення ефективного перебігу процесу по переробці відходів тваринництва в біогаз прийнято принципіальну технологічну схему, яка дає загальне уявлення про послідовність окремих стадій і робочих операцій процесу виробництва біогазу та доведення його до якості природного газу з подальшою подачею в газорозподільні мережі місцевих споживачів природного газу (змішання з природним газом).

#### ДР 1 Підготовка технічного повітря

Проводиться очищення від механічних включень і пилу. Технологічне повітря застосовується при витисканні біогазу з газгольдера, на етапі зневоднення шламу на фільтр-пресах, а також при підготовці біогазу до якості природного газу.

##### ДР 1.1 Забір повітря з атмосфери

Забір атмосферного повітря за допомогою труб здійснюється з точкою забору 10м вище рівня землі.

##### ДР 1.2 Фільтрування повітря

З компресора повітря проходить через повітрозбірник і для попереднього очищення подається на фільтр попередньої очистки. На цьому фільтрі повітря очищується від механічних частинок та пилу. Фільтрувальним матеріалом є тканина з максимальним діаметром часток, що затримуються 1,5 мкм, й ефективністю очищення 98%. Повітря направляється на технологічні стадії ТП 6.1, ТП 7.1, ТП 8.2, ЗВ 9.2.

#### ДР 2 Підготовка сировини

Для забезпечення інтенсивного перебігу процесу анаеробного зброджування необхідно вихідну сировину – силос кукурудзи та гній ВРХ, піддати попередній обробці, для забезпечення швидкості перетворення сировини та виходу біогазу з даного субстрату.

##### ДР 2.1 Підготовка гною ВРХ

Біомасу, одержану на фермі по утриманню ВРХ доставляють на комплекс за допомогою насосів до накопичувачів для гноєвої біомаси. Потім

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шнековим транспортером подають в резервуар попереднього змішування до ТП 4.

#### ДР 2.2 Підготовка силосу кукурудзи

Рослинні відходи які надходять з ферми до накопичувачів, подрібнюють. Біомаса подрібнюється до часточок розмірами не більше 50 мм. Далі її гвинтовим насосом подають в резервуар попереднього змішування до ТП 3.

#### ТП 3 Змішування субстрату для зброджування

В резервуарі попереднього змішування відбувається змішування гною ВРХ (70%) та силосу кукурудзи (30%) за допомогою лопатевої мішалки. Подається водопровідна вода для розбавлення субстрату до вологості 92%. Для підігрівання до змішувача подається гарячий теплоносій, який після використання в охолоджену вигляді повертається назад до котельні. Температура всередині реактора підтримується 25°C, рН становить 4,5-6.

#### ТП 4 Метанове зброджування

За допомогою насоса-дозатора подрібнений субстрат подається безпосередньо в горизонтальний метантенк з мішалкою з частотою обертів  $12\text{хв}^{-1}$ , яка забезпечує розбиття кірки, що утворюється на поверхні культуральної рідини. На даному етапі відбувається зброджується отриманий субстрат з утворенням біогазу.

Метантенк дозволяє здійснювати біодеградацію органічних і неорганічних сполук шляхом взаємодії з вихідною сировиною консорціумом анаеробних бактерій без доступу кисню повітря при температурі в діапазоні 35-39°C (мезофільний режим) та вологістю 92%. Завантаження реактора виконується відповідно до обраної дози (коефіцієнт заповнення 0,8). Процес протікає за рН=6,8–7,4.

Підігрів субстрату відбувається за допомогою змішувачів, всередині яких протікає теплоносій від котельні.

Сорочка у ферментері демонтована, натомість укладений шар теплоізоляції. З метою здешевлення обладнання для виготовлення

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



метантенків застосована двошарова сталь: зовнішній шар – звичайна конструкційна сталь, внутрішній – нержавіюча сталь..

Анаеробне зброджування субстрату відбувається у метантенку об'ємом 600 м<sup>3</sup>. У процесі зброджування в газовій порожнині реактора постійно підтримується невисокий надлишковий тиск, що інтенсифікує процес газогенерації, сприяє мікроперемішуванню й боротьбі з кіркоутворенням (за рахунок відбору пухирців газу, що піднімають легкі частки субстрату на поверхню рідини).

#### ТП 5 Обробка збродженого залишку

Зброджений субстрат з попередньої стадії є цінним матеріалом для добрива і підвищення якості ґрунтів, перевершуючи в цій якості незброджені матеріали, а також мало чим поступаючись мінеральним добривам або компосту.

##### ТП 5.1 Зневоднення на фільтр-пресі

Відбір збродженої маси відбувається за допомогою насосу для гною, який подає її на фільтр-прес для зневоднення. Шлам, що утворився в процесі зневоднення, подається до вальцевої сушарки (вологість шламу становить 75-80 %), а фільтрат надходить на ЗВ8.

##### ТП 5.2 Сушіння

Тверда фракція подається до вальцевої сушарки. Гаряча пара із котельні подається всередину вальцевих дисків, нагріваючи їх. Розподіл вологого продукту між вальцями виконується за допомогою системи дозування. Зазор між вальцями може бути в межах від 0,1 до 2 мм. Вологий продукт рівномірно розподіляється на гарячих вальцях і при цьому під час часткового обертання вальців випаровується волога. Приблизно через 3/4 обороту висушений продукт видаляється за допомогою скребка. Висушений продукт має вологість 10-15%. За допомогою конвеєра подається до гранулятора.

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### ТП 5.3 Гранулювання біодобрива

В грануляторі тверда висушена фракція перетворюється на гранули розміром 0,8x2,5см. Готові гранули транспортером направляють до стадії ПМВ 9.2.

### ТП 6 Збір, очищення та зберігання біогазу

На даному етапі відбувається відведення біогазу, що утворився в метантенках, і його підготовка до подачі в газорозподільну мережу. З реактора біогаз виходить насичений водяною парою і містить поряд з метаном ( $\text{CH}_4$ ) і двоокисом вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), також значну кількість сірководню ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Щоб захистити апарати газопідготовки від зносу і поломки необхідно видалити водяну пару, сірководень і двоокис вуглецю з біогазу, шляхом постадійного очищення.

#### ТП 6.1 Накопичення біогазу у сухому газгольдері

Біогаз, що утворюється, надходить в газгольдер, за допомогою якого в системі підтримується надлишковий тиск 10 кПа. За допомогою повітря із стадії ДР 1.2 біогаз витісняється з газгольдера та подається на наступні стадії очискти.

#### ТП 6.2 Очистка від $\text{CO}_2$ і $\text{H}_2\text{S}$

Промивка водою під тиском полягає в різній розчинності  $\text{CH}_4$  та  $\text{CO}_2$  у воді. Біогаз спочатку стискується до 3 бар і потім на наступному етапі компресора до 9 бар, після чого він протитоком протікає через наповнену  $\text{H}_2\text{O}$  абсорбційну колону. В колоні у воді розчиняються сірководень, вуглекислий газ, аміак і пил.

#### ТП 6.3 Конденсація в газопроводах

Біогаз проходить через систему труб, які знаходяться на глибині 1 м під землею. За рахунок різниці температур між біогазом та трубою, волога конденсується на стінках трубки і відводиться у резервуар збору відпрацьованого субстрату. Головною умовою цього процесу є те, щоб труби були нахилені під строгим кутом  $2...4^\circ$ , інакше сконденсована рідина не буде надходити до конденсатозбірника.

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### ТП 6.4 Збір очищеного біогазу в газгольдері

Очищений газ W-подібним поршневым компресором стискається до 0,5 МПа і надходить у газгольдер високого тиску.

#### ТП 7 Підготовка очищеного біогазу до якості природного газу

Для того, щоб біогаз подати до мережі природного газу, після проходження окремих етапів очистки виконується кінцева адаптація очищеного біогазу до вимог якості природного газу.

##### ТП 7.1 Одоруння

Так як біометан не має запаху, він повинен виявлятися при його витоках шляхом додавання ароматизаторів. Використовують органічні з'єднання, які містять сірку в своєму складі. Одоруння відбувається шляхом вприскування тетрагідротіофену до концентрації 0,016 г/м<sup>3</sup>.

##### ТП 7.2 Кондиціонування енергетичної цінності біогазу

Регулювання характеристик відбувається шляхом додавання повітря при високій калорійності біогазу, або зрідженого газу (пропан+бутан) при низькій калорійності. Мірою цього є калорійність ( $Q=31,8$  МДж/м<sup>3</sup>) та число Воббе ( $W=41,2$  МДж/м<sup>3</sup>). Далі біогаз прямує на стадію ПМВ 8.1 для заправлення в балони й до споживачів.

#### ПМВ 8 Пакування, маркування та відвантаження готового продукту

Готовим продуктом є біогаз очищений, гранули біодобрива.

##### ПМВ 8.1 Пакування та маркування біодобрива.

Гранули зі стадії ТП 5.3 пакують в мішки зі складу по 25 кг. Відправляють споживачеві.

##### ПМВ 8.2 Заправлення біометану в балони

Біогаз зі стадії ТП 7.2 заправляють в балони червоного кольору зі складу, найменування газу вказують білим кольором. Балони з газом відвантажують та транспортують споживачеві.

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3 Контроль виробництва

Для забезпечення відповідності готової продукції вимогам НТД на підприємстві забезпечується постійний контроль процесу. Інформація про методи контролю, періодичність перевірки та об'єкти контролю подані у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Контрольні точки на виробництві біогазу

№ п/п	Назва стадії процесу, місце заміру параметра або відбору проби	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Методи контролю	Метод контролю параметра, тип приладу
1	ДР 1.1 Забір повітря атмосфери	Температура	Постійно	$20^{\circ}\text{C} < T < 40^{\circ}\text{C}$	Термометр	Термометр біметалевий ТБУ-63-100 радіальний
2	ДР1.2 Фільтрування повітря	Тиск	Постійно	$p = 6 \text{ кПа}$	Манометр	Манометр електроконтактний ЭКМ-1 У ДСТУ 2405-94
3	ТПЗ Отримання субстрату для зброджування	Рівень заповнення збірника; температура; рН середвища.	Постійно рН і температура, рівень – при завантаженні	$K_3 = 0,8$ , $t = 25^{\circ}\text{C}$ , $pH = 4,5-6$ .	Рівнемір, рН-метр, Термопара	рН-метр "КВАРЦ-рН/2" ТУ 4215-008-27428832-01. Термопара ТХА/ТХК-1392 по МЭК 60584-1,2 або ГОСТ Р 8.585-2001.

4	ТП 4 Метанове зброджування	Рівень заповнення збірника; температура; рН	Постійно рН і температура, рівень – при завантаженні	$K_3=0,8$ $t=37\text{ }^{\circ}\text{C}$ $pH=6,8-8$	Рівнемір, рН-метр, Термопара	рН-метр "КВАРЦ-рН/2" ТУ 4215-008-27428832-01. Термопара ТХА/ТХК-1392 по МЭК 60584-1,2 або ГОСТ Р 8.585-2001. Рівнемір СУС-13-ПП-040М-2 ТУ 25-02-08-1991-83.
5	ТП5.1 Зневоднення на фільтр-пресі	Тиск	Постійно	$P=0,1-0,2$ МПа	Манометр	Манометр електроконтактний ЕКМ-1 У ДСТУ 2405-94
6	ТП 5.2 Сушіння твердої фракції шламу	Температура	Постійно	$T=130^{\circ}\text{C}$	Термопара	Термопара ТХА/ТХК-1392 по МЭК 60584-1,2 або ГОСТ Р 8.585-2001.
7	ТП 6.1 Накопичення біогазу мокрого газгольдері	Тиск у газгольдері	Постійно	10 кПа	Манометр	Манометр електроконтактний ЕКМ-1 У ДСТУ 2405-94
8	ТП6.2. Очищення від вуглекислого газу та сірководню	Тиск, температура води, концентрація сірководню	Постійно	$P=1,2$ МПа, $T=10^{\circ}\text{C}$ , $C<0,2$ г/м <sup>3</sup>	Манометр, термометр, газоаналізатор	Манометр електроконтактний ЕКМ-1 У ДСТУ 2405-94; Термометр біметалевий ТБУ-63-100 радіальний; Газоаналіза-

						тор АНКAT-7664М
9	ТП6.3 Конденсація в газопроводах	Температура води	Постійно на вході в теплообмінник	T=5°C	Термометр	Термометр біметалевий ТБУ-63-100 радіальний
10	ТП6.4 Накопичення очищеного біогазу	Тиск	Постійно	P=1,2МПа	Манометр	Манометр електроконтактний ЕКМ-1 У ДСТУ 2405-94
11	ТП7.1 Одорування	Концентрація	Постійно	C=0,016 г/м <sup>3</sup>	Газоаналізатор	Газоаналізатор АНКAT-7664М
12	ТП7.2 Адаптація енергетичної цінності	Концентрація	Постійно	Q=31,8 Мдж/м <sup>3</sup>	Газоаналізатор	Газоаналізатор АНКAT-7664М
13	ПМВ 8.2	Маса	Постійно	m=25кг	Ваги	Ваги ВН-600

### 3.4. Матеріальний баланс

Матеріальний баланс технологічного процесу наведено в таблиці 3.3. Ця таблиця відображає інформацію про види і кількість сировини, допоміжних матеріалів, проміжних та кінцевих продуктів.

Таблиця 3.3. Матеріальний баланс виробництва на 1 цикл.

Використано				Отримано			
Назва сировини, матеріалів та напівпродукті в	Кількість			Назва кінцевого продукту або напівпродукту, відходів та втрат	Кількість		
	м <sup>3</sup>	шт	кг		м <sup>3</sup>	шт	кг
ТП 3. Змішування субстрату для зброджування							
Гній ВРХ			14000	Гомогенізований субстрат			53900
Силос кукурудзи			32300				

Вода водопровідна			7600				
Всього:			53900				53900

ТП 4. Збродження біомаси

Гомогенізований субстрат			53900	Вихід шламу			23400
				Вихід рідкої фракції			19600
				Утворений неочищений біогаз	3402		2100
				Втрата сировини для отримання біогазу			8800
Всього:			53900	Всього:			53900

ТП 4. Переробка зброженого субстрату

Шлам			23400	Зневоднений субстрат			33200
Рідка фракція			19600	Фільтрат			37700
				Біодобриво			5300
Всього:			43000	Всього:			43000

ТП 5. Збір, очищення та зберігання біогазу

Неочищений біогаз	3402		2100	Відпрацьована вода з конденсатом			1102,8
Водопровідна вода			1000	Вуглекислий газ (CO <sub>2</sub> )			524,2

				Сірководень (H <sub>2</sub> S)			105
				Очищений біогаз (CH <sub>4</sub> )			1365
Всього:			3100	Всього:			3100

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 4. ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ

### 4.1 Обґрунтування обраної конструкції метантенка

Обрано горизонтальну конструкцію анаеробного реактора (метантенка), яка виготовлена згідно ГОСТ Р 53 790-2010 (рис 4.1). Горизонтальна конструкція дозволяє досягти кращого ефекту змішування за рахунок використання більш потужних механічних перемішуючих пристроїв.

Компактні розміри дозволяють здійснювати ефективний підігрів без значних втрат тепла.

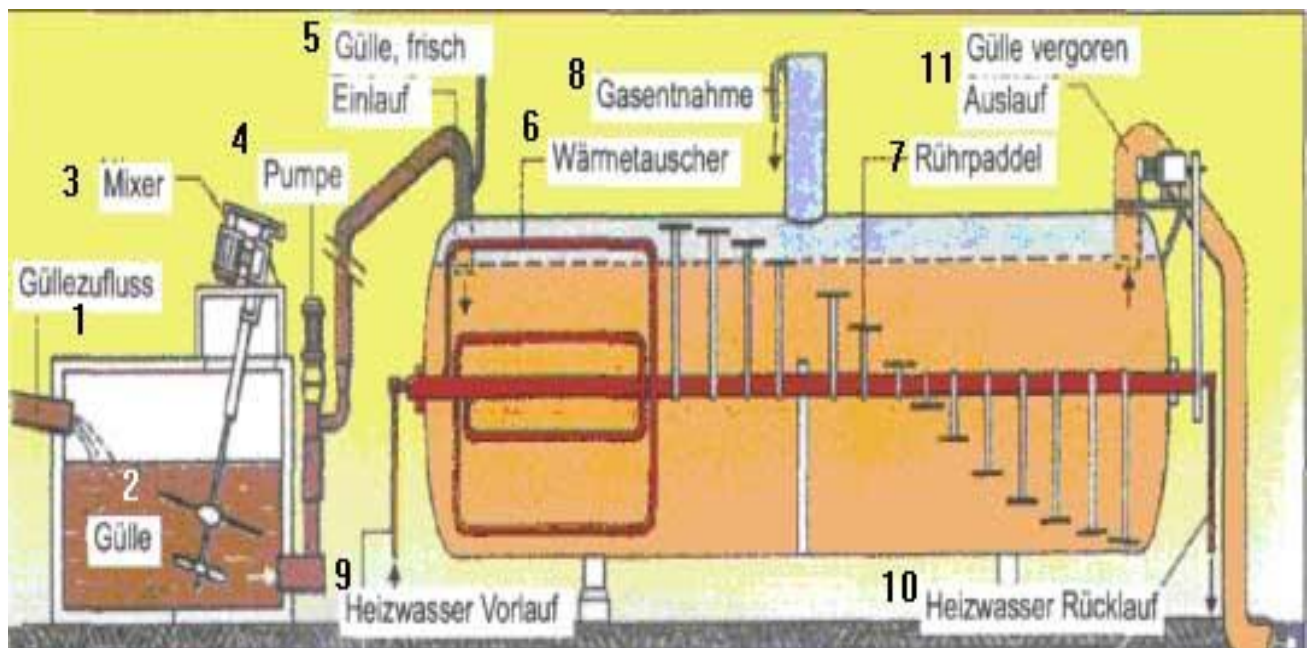


Рис. 4.1 Загальний вигляд горизонтального метантенка

1-подача гноєвої біомаси; 2-субстрат для зброджування; 3-міксер; 4-насос; 5-подача субстрату до бродильної камери; 6-теплообмінник; 7-мішалка; 8-відбір біогазу; 9-подача теплоносія; 10-вихід теплоносія; 11-відбір зброженого субстрату.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Любецький О.В.			ВИБІР ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ		Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.								59	129
Керівн.		Щирська К.О.			КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп				
Затверд.		Щирська К.О.							

## 4.2 Технологічна характеристика метантенка

Апарат призначений для продукування біогазу з гною ВРХ та силосу кукурудзи.

Об'єм номінальний в апараті, $m^3$	600
Коефіцієнт заповнення в апараті	0,8
Тиск, $kPa$	
у апараті робочий	1
у апараті при гідравлічних випробуваннях	2
Площа поверхні теплообміну, $m^2$	192
Температура середовища, $^{\circ}C$	
робочого середовища	36
гріючого теплоносія	38
Витрати нагрівачої води, $m^3/год$	0,122
Середовище в апараті	нетоксичне, корозійне, вибухонебезпечне
Частота обертання, $хв^{-1}$	12
Маса виробу в робочому стані, $kg$	8920
Габаритні розміри, $mm$	
довжина	11100
ширина	3940
висота	5010

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.3 Обґрунтування вибору технологічної схеми

Першим етапом допоміжних робіт є підготовка технологічного повітря, під час якої відбувається механічна очистка від пилу та включень різного походження. Технологічне повітря використовується при видаленні біогазу з газгольдера, при роботах з фільтр-пресом, а також подається при підготовці біогазу до якості природного газу при його високій калорійності, тому його очищення є важливим етапом допоміжних робіт [32].

Для очистки атмосферного повітря в промисловості використовуються різні методи газової очистки або застосування антисептиків, підвищені або понижені температури, ультрафіолетове опромінення, іонізуюче випромінювання, застосовують циклони, пиловловлювачі (вихрові, жалюзійні, камерні та ін.) і різні за конструкціями фільтри.

Фільтри застосовуються для очищення повітря від пилу і включень. Для середньої та тонкої очистки повітря використовують фільтри, в яких запилене повітря пропускається через пористі фільтраційні матеріали. Механізм осадження часток обумовлений дією сил інерції або гравітаційних сил, броунівської дифузії в газах і ефектом дотику. Осадження твердих і жирних часток на фільтрувальних елементах відбувається в результаті контакту частинок з поверхнею пор. В якості фільтруючих матеріалів застосовуються тканини, папір, металева стружка, пориста кераміка і пористі метали. Вибір матеріалу залежить від якості очищення. Загальним недоліком усіх фільтрів є обмежений термін служби із-за швидкого засмічення фільтруючих елементів [32].

Спочатку атмосферне повітря забирають через забірну шахту на висоті 10м. Далі повітря надходить до фільтру. Використовується касетний фільтр повітря MF з механічним способом фільтрації повітря, який призначений для очищення забрудненого повітря від сухих частинок різних видів диму і пилу, а також від часток шкідливих речовин, розмірами до 0,2 мікрона. Повітряний фільтр експлуатується в різних приміщеннях в складі систем очищення повітря або систем витяжної вентиляції. Температура переміщуваного

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повітряного потоку не повинна перевищувати 60°C. Повітряний потік, який очищується, не повинен містити вибухонебезпечних сумішей.

До переваг фільтру відносяться такі як висока продуктивність і ступінь очищення; велика економія енергії за рахунок повернення очищеного повітря в приміщення; легко замінні фільтр-касети; велика фільтруюча поверхня; тривалий термін служби фільтруючих касет.

Продуктивність даного фільтру – 1100-1500 м<sup>3</sup>/год, активна фільтруюча поверхня – 15 м<sup>2</sup>.

Далі проводиться підготовка відходів, що надходять від ферми для їх утилізації шляхом метанового зброджування. Підготовка гною є невід’ємною частиною технологічного процесу, так як впливає на параметри метанового зброджування та на вихід біогазу в результаті.

За допомогою насосів відбувається видалення посліду з ферми та надходження його до накопичувачів. Накопичення відбувається на складах для того, щоб забезпечити необхідним для загрузки в реактор об’ємом субстрату на період від декількох годин до двох діб. Параметри сховищ залежать від наявності сировини та потужності реактора. Необхідна для сховищ площа залежить від об’ємів субстрату. Наявність запахів із сховищ повинна бути мінімальна. Це можливо досягти шляхом розміщення вентиляційних установок.

В сільському господарстві для рідких субстратів прийняті сховища у вигляді цистерн, або гноєсховищ. Тривалий період зберігання гною в гноєсховищах призводить до природного знезараження гною під час процесу анаеробного зброджування. Сучасні гноєсховища виготовляються з бетону, нержавіючої сталі та еластичної мембрани з поліетилену або ПВХ [32].

Однією з найбільших екологічних проблем промислових ферм є утворення великої кількості гною або посліду. В Україні наразі немає жорстких вимог до того, як ферми будуть утилізувати відходи. Гній або послід може накопичуватися та зберігатися у спеціальних сховищах (з можливим подальшим компостуванням, або вермикомпостуванням частини

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фракції при розділенні на фракції), піддаватися анаеробній біологічній обробці для одержання біогазу, фізико-хімічній або механіко-біологічній обробці [2].

На практиці, на більшості ферм використовується саме варіант накопичення та зберігання відходів – гній та послід накопичуються та зберігаються деякий час у лагунах. Після цього гній або послід вносяться на поля як органічне добриво. Таке поводження з відходами не є екологічною проблемою, якщо ферма мала або середня і обсяги утворення відходів невеликі, дотримані правила безпеки поводження з відходами та режим внесення відходів у ґрунти. За таких умов гній та послід є цінним органічним добривом. Проблеми виникають, коли порушуються правила поводження з відходами і коли такий метод застосовується на великих промислових фермах. Промислові ферми мають поголів'я у сотні тисяч голів тварин або мільйони голів птахів на рік і, відповідно, тисячі кубічних метрів відходів, які збирають у лагуни та зберігають від декількох місяців до року перед винесенням на поля. В Україні близько 50 % тваринницьких ферм – промислові [2].

При зберіганні тисяч метрів кубічних відходів у лагунах можливе незаплановане витікання гноївки у навколишнє середовище через розгерметизацію лагун, змив, перевищення лімітів наповнення лагун. Крім того, гній або послід можуть вноситися у ґрунт із частотою та в обсягах, що перевищують норму. При понаднормовому внесенні у ґрунт, потраплянні до підземних та поверхневих вод, гній та послід є забрудниками [2].

Гній або послід багатий на азот, фосфор та інші поживні речовини, які при потраплянні у воду роблять її непридатною для питного водопостачання, завдають шкоди водно-болотним угіддям та водним екосистемам. Зокрема, перенасичення поживних речовин у воді спричиняє евтрофікацію – надлишок азоту, фосфору та інших поживних речовин, починають активно рости та розмножуватися водорості, відбувається «цвітіння» водоростей, які

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовують кисень у воді. За відсутності кисню гине риба та інші мешканці водойм [2].

Через просочування азоту, фосфору та інших речовин із гною або посліду до підземних вод відбувається забруднення горизонтів питного водопостачання. У США 1998 року було проведено дослідження 1600 свердловин, розташованих поблизу промислової ферми, та виявлено, що 34% із них забруднено нітратами, а у 10% свердловин рівень нітратів перевищує стандарт для питної води [2].

При понаднормовому внесенні гною та посліду в ґрунт відбувається перенасичення ґрунту поживними речовинами. Накопичення надлишку поживних речовин та важких металів призводить до зменшення родючості ґрунтів та скорочення кількості земель, придатних для сільського господарства. У деяких азійських країнах близько чверті загальної площі сільгоспугідь потерпає від надлишкового внесення поживних речовин. Близько половини надлишкового внесення фосфору відбувається через промислове тваринництво [2].

При проектуванні гноєсховищ слід враховувати:

- замерзання технічних потужностей сховищ, що можна уникнути за допомогою розміщення цистерн в приміщеннях, підігрівом цистерн;
- уникати процесів бродіння, які зменшують вихід газу;
- зводити до мінімуму викиди різких запахів;
- варто уникати попадання сировини в ґрунт та водойми.

Механічна обробка органічних відходів сільськогосподарського виробництва не передбачає цілого ряду технологічних операцій притаманних для переробки муніципальних відходів, а саме: сортування, відбір металевих та полімерних компонентів відходів, тканин тощо. [35].

Для подрібнення твердих субстратів можна використовувати шредери, мельниці, дробилки, а також вали і шнеки з розриваючими та ріжучими пристосуваннями. Частіше застосовуються дробилки з ножами на

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комбінованих ділянках прийому і дозування. Такі агрегати можуть щодня подрібнювати до  $50\text{м}^3$  субстрату.

До переваг належать: великі об'єми переробки, великі об'єми запасів для автоматичного управління подрібнення і загрузкою. Недоліками є можливе утворення містків над подрібнювальними інструментами, а також у випадках аварій матеріал потрібно прибирати вручну [32].

Процес транспортування гною і подрібненого силосу кукурудзи до реактора попереднього змішування зі збірників виконується за допомогою шнекових транспортерів та гвинтових насосів.

Тому збалансування субстрату за вмістом поживних речовин та відношенням  $\text{C:N} = 25 \pm 5 : 1$  відбувається змішуванням гною ВРХ (70%) та силосу кукурудзи (30%) за допомогою лопатевої мішалки.

Метанові бактерії можуть жити і розмножуватися, коли субстрати в достатній мірі розчинені у воді (в складі мінімум 50% води). Тому до субстрату додається технічна вода, щоб вміст сухий речовин в ньому становив 5-15% для оптимального процесу бродіння.

Температура всередині реактора підтримується  $25^\circ\text{C}$ , рН становить 4,5-6. Процес триває 5-7 діб. На цій стадії відбувається розщеплення високомолекулярних органічних речовин (білків, жирів, вуглеводів) на низькомолекулярні (цукри, амінокислоти, жирні кислоти та воду) за допомогою екзоензимів аеробних бактерій.

Далі субстрат надходить власне до метантенку, де і відбувається процес метанового зброджування.

Для транспортування субстрату, які можуть перекачуватись, в межах біогазової установки використовуються насоси з приводом від електродвигуна. Слід забезпечити, щоб насоси були легко доступними, а навколо них було достатньо вільно місця для виконання необхідних робіт. Насоси можуть швидко засмічуватися, що повинно швидко усуватися.

Центробіжні насоси широко застосовуються для перекачки рідкого гною. Вони характеризуються натиском до 20 бар, продуктивністю від  $2\text{м}^3/\text{хв}$

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до 30м<sup>3</sup>/хв, споживана потужність від 3 кВт, для субстратів з вмістом <8% сухої речовини. Перевагами є проста, компактна і міцна конструкція, велика продуктивність. Недоліками є те, що такі насоси не самовсмоктуючі, тому необхідне встановлення установки нижче рівня субстрату, а також не підходять для дозування субстрату.

Анаеробне бродіння – багатостадійний процес, який здійснюється декількома функціональними групами бактерій, що тісно взаємодіють між собою. За харчовими потребами бактерії, що здійснюють метаногенез, поділяють на 3 види:

- гідролізні (ацетогенні);
- гомоацетатні бактерії;
- власне метаногенні бактерії.

Гідролітичні бактерій піддають ферментативному розщепленню складні водонерозчинні органічні полімери – білки, ліпіди і полісахариди..

Гомоацетатні бактерії здійснюють симбіотичну ацетогенну дегідрогенізацію жирних кислот з довшою, ніж в оцтової кислоти, ланцюгом (пропіонова, масляна, бензойна), яка є лімітуючою стадією при утворенні метану. Синтрофні мікроорганізми представлені як облігатними, так і факультативними анаеробами (*Synthrophobacter*, *Syntrophomonas*, *Desulfovibro*), їх мікробіологія не зовсім вивчена. Процес розкладення цими бактеріями органічних кислот і спиртів на водень і оцтову кислоту може бути здійснений термодинамічно тільки при дуже низьких концентраціях водню [33].

Метаногени – це група мікроорганізмів, які сильно відрізняються від усіх інших своїми властивостями, фізіологією і біохімією. Вони відрізняються дуже низькою швидкістю росту, надзвичайно чутлива до умов навколишнього середовища і вимагають перш за все відсутності в середовищі розчиненого кисню та інших окислювачів.

Для інтенсифікації процесу бродіння, щоб бактерії могли добре працювати при одноступінчатому анаеробному процесі, потрібно створити

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



певні технологічні параметри та життєві умови, які будуть забезпечувати максимально сприятливі умови для протікання утворення біогазу.

Метанові бактерії можуть жити і розмножуватися, коли субстрати в достатній мірі розчинені у воді (в складі мінімум 50% води). На відміну від аеробних бактерій, дріжджів і грибів вони не можуть існувати в твердій фазі. Тому для так званих технологій твердих процесів є необхідність в зволоженні матеріалу, хоча спочатку несуттєво, чи є субстрат спочатку вологим або став таким шляхом зрошення або змішування [33].

В анаеробному процесі розщеплення органічних субстратів приймає участь цілий ряд мікроорганізмів. Близько 50% бактерій є аеробними або факультативно аеробними і добре переносять кисень. Тому невелика кількість кисню, яка проникає при відкриванні оглядових отворів, не є шкідливим.

Хоча світло і не є для бактерій смертельним, воно уповільнює процес. Виключити вплив світла на процес на практиці можливо за допомогою світлонепроникної кришки.

Як орієнтовного значення для змішування субстратів можна прийняти таке співвідношення поживних речовин C: N = 30: 1.

Завантаження реактора виконується відповідно до обраної дози та тривалості зброджування в автоматичному режимі (допускається перехід на ручний режим керування). Процес протікає за  $pH=6,8-7,4$ , контроль якого проводиться вмонтованим рН-метром і вологості середовища 92%, яка контролюється за допомогою стаціонарного вологоміра.

Підтримка температурного режиму в реакторі виконується за допомогою підігріву гарячим теплоносієм, який автоматично подається від котельні до змійовиків, які змонтовані по всій довжині споруди.

Використовується горизонтальний метантенк з перемішуванням субстрату в подовжньому напрямку [25].

Для забезпечення стабільного процесу бродіння шлам та залишки збродженої маси, які постійно накопичуються в споруді, потрібно

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відвантажувати. Відбір збродженої маси відбувається за допомогою фекального насосу для гною, який подає її на фільтр-прес для зневоднення. Фільтр-прес виготовлений з корозійностійкої сталі, а високонавантажувальні вали – з вуглецевої сталі, яка покрита шаром міцного полімеру.

Стрічковий фільтр-прес конструктивно представляє собою встановлену на рамі систему валів, між якими натягнуті дві (верхня і нижня) безкінечні стрічки, з'єднані у безкінечні полотна. На фільтр-пресі передбачені два вузла промивки стрічок, пристрій розподілу осаду по стрічці у зоні подачі осаду та пристрій зняття зі стрічок зневодненого осаду (кека).

Всі рухомі деталі мають підвищену зносостійкість та захист. Деталі, які стикаються у процесі роботи з осадом, захищені від дії агресивних середовищ.

Перевагами стрічкового фільтр-пресу є:

- висока ефективність зневоднення завдяки послідовності та спеціальній геометрії розташування валів різних діаметрів;
- низьке енергоспоживання;
- високий захист від корозії;
- автоматизована система управління стрічкою і захистом від її сходження;

Зневоднений осад фільтр-пресу досягає залишкової вологості приблизно 75-80%. Шлам, що утворився в процесі зневоднення надходить до наступної стадії переробки – сушіння.

Сушка біодобрив дозволяє більш повно використовувати потенціал біогазової станції і в разі підвищити її рентабельність. Сушені біодобрива мають більш високу продажну ціну в порівнянні з просто відсепарованою біомасою. У сушеному гранульованому вигляді добрива можуть з низькими витратами транспортуватися на будь-які відстані і зберігатися досить довго. Два побічних продукти біогазової станції-тепло і сирі біодобрива можуть бути задіяні для виробництва необхідного продукту. Сушені біодобрива прирівняні до гуамо. Низькотемпературна конвеєрна сушарка працює по

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високоєфективному методу для сушіння біомаси за допомогою низької температури. Малий рівень викидів і високоякісний кінцевий продукт, при низькому рівні споживання є перевагою технології. Регулювання швидкості подачі продукту гарантує постійну вологість обсушеного продукту і оптимальне використання додаткової теплової енергії. Процес відбувається на вальцовій сушарці. Гаряче повітря зі стадії ДР 2.1 подається всередину вальцових дисків, нагріваючи їх. Розподіл вологого продукту між вальцями виконується за допомогою системи дозування. Зазор між вальцями може бути в межах від 0,1 до 2 мм. Вологий продукт рівномірно розподіляється на гарячих вальцях і при цьому під час часткового обертання вальців випаровується волога. Приблизно через 3/4 обороту висушений продукт видаляється за допомогою скребка. Висушений продукт має вологість 10%. За допомогою конвеєра подається до гранулятора, в якому тверда висушена фракція перетворюється на гранули розміром 0,8х2,5см.

Біогаз, що утворюється в процесі бродіння, надходить до газгольдера, який виконує функцію акумулювання газу перед його очисткою.

Біогазом прийнято називати газ, що виділяється внаслідок анаеробного бродіння органічних речовин під впливом потрібних бактерій. Але метою даного проекту є доведення технічних характеристик отриманого біогазу до природного газу та його подача до газової мережі. Склад біогазу: 55-75% метану, 25-45%  $\text{CO}_2$ , незначні домішки водню ( $\text{H}_2$ ) і сірководню ( $\text{H}_2\text{S}$ ), азоту, ароматичних вуглеводнів, галогено-ароматичних вуглеводнів. Тому перед подачею в газову мережу потрібно підготувати та очистити біогаз [32].

Відведення біогазу з газгольдера відбувається за допомогою надлишкового тиску в об'ємі газгольдера. Для цього використовується технологічне повітря з ДР 1.2.

Спочатку проводиться очистка від  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{S}$ . Найбільш розповсюджена промивка водою під тиском, яка заснована на різній розчинності вуглекислого газу у воді. Біогаз спочатку стискується до 3бар, а

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на наступному компресорі – до 9бар, після чого протитоком протікає через наповнену водою абсорбційну колону. В колоні у воді розчиняються сірководень, вуглекислий газ, аміак та пил. Ці речовини після пониження тиску води видаляються із системи.

До переваг даної технології можна віднести те, що вона не потребує попереднього просушування та знесірчення біогазу. Також має неперервну і повністю автоматичну експлуатацію, коабсорбцію  $H_2S$  і  $NH_3$ , воду в якості абсорбенту (безпечна, дешева та необмежена доступність). Недоліки технології полягають у великому споживанні електроенергії і відносно великих втратах метану (1%).

Надмірна кількість вологи може призводити до корозії матеріалів, конденсат може пошкоджувати вимірювальні прилади, також можливе обмерзання накопичуваної вологи [32].

Первинне очищення біогазу від води зазвичай відбувається при охолодженні газу до температури навколишнього середовища. Це відбувається в газгольдері і трубопроводах. З цієї причини трубопровід повинен мати хорошу теплоізоляцію. Крім цього, не можна щоб в трубопроводі утворювалися поглиблення, так як в них буде накопичуватися вода. Необхідно прокладати трубопровід таким чином, щоб конденсат вільно міг стікати в ферментатор або в сепаратор для конденсату.

Біогаз, що надходить з газгольдера проходить через систему труб, які знаходяться на глибині 1м під землею. За рахунок різниці температур між біогазом та трубою, волога конденсується на стінках трубки і відводиться у резервуар збору відпрацьованого субстрату.

В обраній технології застосовується конденсаційне просушування. Принцип дії базується на відділенні конденсату в результаті охолодження біогазу нижче температури конденсації. Охолодження відбувається в газопроводі. При прокладанні газопроводу створюється перепад висоти і конденсат збирається в найглибшому місці газопроводу – конденсатозбірнику. Сепаратори конденсату потрібно регулярно

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опорожнювати, тому вони повинні розташовуватись в добре доступному місці [32].

Очищений біогаз зберігається в газгольдерах, які виконані у вигляді мішка з високоміцного PVC стійкого до перепаду температур. Тиск газу всередині газгольдера становить 0,5 МПа, об'ємом до 4000 м<sup>3</sup>.

Такі конструкції займають мало місця, не потребують додаткових споруд. Сухий газгольдер порівняно з мокрим володіє наступними перевагами: відсутній контакт газу з водою, тому в них можна зберігати зневоднений газ високої концентрації; у них висока герметичність; прості в експлуатації [32].

Але в даному газгольдері неможливо виміряти концентрацію метану внаслідок сильного перемішування газів в ньому, також теплоізоляція газової камери не значна та висока чутливість до вітру. Цей недолік можна вирішити за допомогою подвійної плівки з повітрям між шарами.

Отриманий очищений біогаз подається до газорозподільчої мережі, тому виконується кінцеве кондиціонування біогазу до якості природного газу.

Так як біогаз не має запаху, з метою виявлення при його витіках потрібно постійно додавати до нього ароматизатори. Для цього використовуються органічні речовини, що містять сірку в своєму складі: меркаптани чи тетрагідротіофени. Додавання відбувається шляхом вприскування речовини до газопроводу.

Також біогаз, який надходить до мережі повинен мати таку ж енергетичну цінність, як і природний газ. Мірою цього є калорійність, відносна густина і число Воббе. Регуляція характеристик відбувається шляхом додавання повітря (при високій калорійності) або зрідженого газу пропан-бутану (при низькій калорійності).

Компоненти фільтрату, який утворився на стадії пресування зброженого субстрату та стадії його сушіння, можуть виступати як відновники нітратів. Для отримання нітратів з іонів амонію, які містяться у

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

воді після ферментації гною, необхідно проводити стадію аеробного окиснення забрудників води.

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ МЕТАНОВОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ГНОЄВОЇ БІОМАСИ

Вихідні данні для розрахунку: поголів'я тварин виробничої групи складає 100 корів, добовий вихід екскрементів на 1 гол. за добу – 55 кг, відносна вологість екскрементів – 86 %, система гноєвидалення – гідрозмив, спосіб утримання тварин – прив'язний.

### 5.1 Розрахунок добового та річного виходу гноєвої біомаси

Вихід гною без використання підстилки (добовий) визначається за формулою:

$$Q_{г.доб} = (M_E J + BJ) \cdot \frac{nJ}{1000}, \quad (5.1)$$

де  $Q_{г.доб}$  - добовий вихід гною, т;

$M_E J$ - добова маса екскрементів від однієї тварини, кг (табл. 5.1);

$BJ$ - добова кількість води, в системі гноєвидалення, кг;

$nJ$  - поголів'я тварин або птахів виробничої групи, що одночасно утримується на комплексі, гол.

Кількість води ( $BJ$ ), яка потрапляє в систему гноєвидалення, розраховується за формулою:

$$BJ = K \cdot M_E J, \quad (5.2)$$

є  $K$  - коефіцієнт (за табл. 5.2).

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Людецький О.В.				РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ МЕТАНОВОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ГНОЄВОЇ	Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.							74	129
Керівн.	Щирська К.О.					КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп		
Затверд.	Щирська К.О.							

Таблиця 5.1- Добовий вихід екскрементів (М<sub>ЕJ</sub>) від тварин, кг [33]

Вікові групи тварин	Вихід на 1 гол, кг за добу		
	кал	сеча	всього
Велика рогата худоба:			
Корови	35	20	55
Нетелі	20	7	27
Телята 0-6 міс.	5	2,5	7,5

Таблиця 5.2 - Добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення [33]

Система видалення	Коефіцієнт, який розраховується від добового виходу екскрементів тварин
Транспортна (конвеєрна)	0,1-0,2
Самосплавна	0,3-0,5
Лотково-змивна з сухою чисткою підлоги	2,0-2,5
Лотково-змивна з вологою чисткою підлоги	5,0-6,0
Гідрозмив	7,0-8,0

Для гідрозмиву  $K=5,0$ .

$$BJ = 8,0 \cdot 55 = 440 \text{ кг}$$

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$Q_{г.доб} = (55 + 440) \cdot \frac{100}{1000} = 49,5 \text{ т}$$

Вихід гноєвої біомаси за добу при використанні підстилки визначається за формулою:

$$Q_{г} = (M_{Е}J + BJ + M_{п}J) \cdot \frac{nJ}{1000}, \quad (5.3)$$

де:  $Q_{г}$  - добовий вихід гною з використанням підстилки, т;

$M_{Е}J$  - добова маса екскрементів під однієї голови, кг,

$BJ$  - добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення, кг;

$M_{п}J$  - добова кількість підстилки на 1 гол., кг (табл. 5.3).

Таблиця 5.3- Норми витрат підстилкового матеріалу [33]

Вид тварин	Спосіб утримання тварин		
	Прив'язний	Боксовий	У групових клітках
ВРХ:			
Корови	1,5	0,5	-
Відгодівель не поголів'я	1,0	-	-
Молодняк	1,5	0,5	1,0
Свині:	-	-	0,5

$$Q_{г} = (55 + 440 + 1,5) \cdot \frac{100}{1000} = 49,65 \text{ т}$$

Вихід гноєвої маси на рік:

$$Q_{г.річн.} = Q_{г.доб} \cdot t, \quad (5.4)$$

де  $t$  – кількість днів у році (365).

$$Q_{г.річн.} = 49,5 \cdot 365 = 18067,5 \text{ т}$$

При утриманні у стійлово-табірних умовах за використання підстилки у приміщеннях (245 діб) і без підстилки в таборах (120 діб) річний та добовий вихід маси гною розраховується за формулою:

$$Q_{г.річн.} = [(M_E J + M_n J + BJ) \cdot t_n + (M_E J + BJ) \cdot t_{л}] \cdot \frac{nJ}{1000}; \quad (5.5)$$

$$Q_{г.доб.} = \frac{Q_{г.річн.}}{t}, \quad (5.6)$$

де:  $t$  - обліковий час, діб (час утримання тварин у приміщенні –  $t_n$ ; у літніх таборах –  $t_{л}$ ;  $t=365$  діб).

$$Q_{г.річн.} = [(55 + 1,5 + 440) \cdot 245 + (55 + 440) \cdot 120] \cdot \frac{100}{1000} = 18104,25 \text{ т}$$

$$Q_{г.доб.} = \frac{18104,25}{365} = 49,6 \text{ т}$$

При стійлово-пасовищному утриманні добовий та річний вихід гною :

$$Q_{г.річн.} = [(M_E J + M_n J + BJ) \cdot t_n + (M_E J + BJ) \cdot 0,3 \cdot t_{л}] \cdot \frac{nJ}{1000}; \quad (5.7)$$

$$Q_{г.доб.} = \frac{Q_{г.річн.}}{t}; \quad (5.8)$$

$$Q_{г.річн.} = [(55 + 1,5 + 440) \cdot 245 + (55 + 440) \cdot 0,3 \cdot 120] \cdot \frac{100}{1000} = 13946,25 \text{ т}$$

$$Q_{г.доб.} = \frac{13946,25}{365} = 38,2 \text{ т}$$

## 5.2 Розрахунок впливу якісних параметрів гноєвої біомаси на вихід біогазу

*Вологість гноєвої біомаси, яка виходить з ферми*

Вологість безпідстилкового гною визначається за формулою:

$$W_g = \frac{W_E + 100 \cdot Z}{1 + Z}, \quad (5.9)$$

де:  $W_g$  - відносна вологість гною, %;

$W_E$  - відносна вологість екскрементів, %, (табл. 5.4)

Z - показник, який враховує кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення (табл. 5.5).

Таблиця 5.4- Відносна вологість екскрементів тварин [33]

Вид тварин	Вологість, %		
	кал	сеча	суміш
Велика рогата худоба	83-84	94-95	86-87
Свині	76-78	94-95	87-88
Вівці	76-79	94-95	74-75

Таблиця 5.5- Показник, який враховує кількість води, що потрапляє в систему гноєвидалення [33]

Спосіб видалення гною	Z
Транспортний (конвеєрний)	0,2-0,3
Самосплавний	0,4-0,5
Лотково-змивний з сухим чищенням підлоги	2,0-2,5
Лотково-змивний з вологим чищенням підлоги	5,0-6,0
Гідрозмив	7,0-8,0

$$W_z = \frac{86 + 100 \cdot 8,0}{1 + 8,0} = 98,4 \%$$

Вологість підстилкового гною визначається за формулою:

$$W_{z, \text{відн}} = W_E - [0,01 \cdot P_{\Pi} \cdot (W_E - W_{\Pi}) + 0,01 \cdot P_B \cdot (100 - W_E)], \quad (5.10)$$

де:  $W_{z, \text{відн}}$  - відносна вологість підстилкового гною, %;

$W_E$  - вологість екскрементів, %;

$W_{\Pi}$  - вологість підстилки (соломи) – 19,6%;

$P_{\Pi}, P_B$  - процентне співвідношення в гноєвій масі підстилки і води, %.

Для визначення  $P_{\Pi}, P_B$  розраховуємо, скільки води за добу потрапило в систему гноєвидалення за формулами:

$$BJ = K \cdot M_E J, \quad (5.11)$$

де: BJ- добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення, кг;  $M_E J$ - добова маса екскрементів від однієї голови, кг;

$$BJ = 8,0 \cdot 55 = 440_{\text{кг}}$$

$$P_B = \frac{BJ \cdot 100}{M_E J + BJ + M_n J}, \quad (5.12)$$

де  $M_n$  - кількість підстилки на добу, кг.

$$P_B = \frac{440 \cdot 100}{55 + 440 + 1,5} = 88,6 \%$$

$$P_n = \frac{M_n J \cdot 100}{M_E J + BJ + M_n J}, \quad (5.13)$$

$$P_B = \frac{1,5 \cdot 100}{55 + 440 + 1,5} = 0,3 \%$$

$$W_{\text{з.відн}} = 86 - [0,01 \cdot 0,3 \cdot (86 - 19,6) + 0,01 \cdot 88,6 \cdot (100 - 86)] = 73,4\%.$$

*Вологість гною при стійлово-табірній та стійлово-пасовищній системі утримання*

У цьому випадку вологість гною розраховується за формулою:

$$W_{\text{з.ф.}} = \frac{(W_{\text{з.відн.}} \cdot 2) + W_{\text{г}}}{3} \quad (5.14)$$

де:  $W_{\text{з.ф.}}$  - відносна вологість гною, який поступає з ферми, %;

$W_{\text{г.відн.}}$  - відносна вологість гною при підстилковому утриманні, %;

$W_{\text{г}}$  - відносна вологість гною при безпідстилковому утриманні. %.

$$W_{\text{з.ф.}} = \frac{(73,4 \cdot 2) + 98,4}{3} = 81,7\%$$

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Вміст сухої речовини в гноєвій біомасі

Для забезпечення рентабельності біогазового виробництва вміст сухої речовини в гноєвій біомасі має становити 8-12%, а органічної речовини - 85%. Хімічний склад гною наведений у таблиці 5.6.

$$P_{a.c.p.} = \frac{Q_{г.} \cdot (100 - W_{г.ф.})}{100}, \quad (5.15)$$

де:  $P_{a.c.p.}$  - вміст абсолютно сухої речовини в гноєвій біомасі, т;

$Q_{г.доб.}$  - добовий вихід гною з ферми, т;

$W_{г.ф.}$  - відносна вологість гною, який виходить з ферми, %.

$$P_{a.c.p.} = \frac{18067,5 \cdot (100 - 81,7)}{100} = 3306,35 \text{ т}$$

Таблиця 5.6 - Хімічний склад гною сільськогосподарських тварин, % у сухій речовині [33]

Компонент	Вид тварин		
	ВРХ: корови	свині	кури
Органічна речовина	77-85	77-84	76-77
Сира клітковина	27,6-50,3	19,5-21,4	13,0-17,8
Сирий жир	2,9-4,3	3,5-4,0	2,4-5,0
Сирий протеїн	9,3-20,7	16,4-21,5	20,5-42,1
Лігнін	16-30	-	9,6-14,3
Азот	1,9-6,5	4,0-10,3	2,3-5,7
Фосфор	0,2-0,7	1,9-2,5	1,0-2,9
Калій	2,4	1,4-3,1	1,0-2,9
Кальцій	2,3-4,9	-	5,6-11,6
Магній	-	-	0,9-1,1

### *Вміст органічної речовини в гноєвій біомасі*

Встановлено, що в гноєвій біомасі різних видів сільськогосподарських тварин міститься до 80% органічної речовини і близько 20% неорганічної.

Кількість органічної речовини в біомасі гною, отриманої від тварин за рік та за добу, визначається за формулою:

$$O_p = P_{a.c.p.} \cdot 0,8, \quad (5.16)$$

де:  $O_p$  - добова кількість органічної речовини в гної, т;

$P_{a.c.p.}$  - добова кількість абсолютно сухої речовини, т.

$$O_p = 3306,25 \cdot 0,8 = 2645,1 \text{ т}$$

### **5.3 Визначення основних параметрів системи анаеробного зброджування гноєвої біомаси (метантенка) БГУ**

Добова продуктивність реактора, або його пропускна здатність щодо вихідного гною.

$$G_{доб} = \frac{Q_{г.річн.}}{t_{річн.} - t_3}, \quad (5.17)$$

де  $G_{доб}$  - добова продуктивність щодо вихідного гною, т/добу;

$Q_{г.річн.}$  - річна кількість гноєвої біомаси на фермі, т;

$t_{річн.}$  - кількість діб у році (365);

$t_3$  - тривалість випуску й обслуговування реактора, діб (30 діб).

$$G_{доб} = \frac{18067,5}{365 - 30} = 53,9 \frac{\text{т}}{\text{добу}}.$$

Добовий об'єм завантаження метантенка ( $Q_{доб.} \text{ м}^3$ ) дорівнює добовому виходу з ферми гною вологістю 88—92%.

$$Q_{доб.} = \frac{W_{г.ф.} \cdot Q_{г.доб.}}{W_{в.опт.в.г.} \cdot q_г}, \quad (5.18)$$

де  $Q_{доб.}$  - добовий об'єм завантаження метантенка,  $\text{м}^3$ ;

$W_{г.ф.}$  - відносна вологість гною, який виходить з ферми, %;

$W_{в.опт.в.г.}$  - відносна оптимальна вологість гною (88-92%);

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ

Арк.

81

$Q_{г.доб.}$  - добовий вихід гною на фермі, т;

$q_{г.}$  - питома вага 1 м<sup>3</sup> гною при вологості 82%, 1,4т.

$$Q_{доб} = \frac{81,7 \cdot 49,6}{92 \cdot 1,4} = 31,46 \text{ м}^3$$

*Об'єм бродильної камери БГУ*

Об'єм бродильної камери безпосередньо впливає на ефективність виробництва біогазу. Тому при проектуванні камери основними параметрами є режим роботи біогазової установки та кількість біомаси гною.

$$V_K = \frac{Q_{доб.} \cdot 100}{p \cdot q}, \quad (5.19)$$

де:  $V_K$  - місткість бродильної камери, м<sup>3</sup>;

$Q_{доб.}$  - добовий об'єм завантаження метантенка, м<sup>3</sup>;

$p$  - добова доза завантаження, % (для мезофільного процесу - 7%, для термофільного процесу - 15%);

$q$  - коефіцієнт заповнення камери (у межах 0,8-0,95).

$$V_K = \frac{31,46 \cdot 100}{7 \cdot 0,85} = 529 \text{ м}^3$$

*Об'єм газогенерації, м<sup>3</sup> (добовий вихід біогазу)*

Із 1 кг сухої речовини гноєвої біомаси, завантаженої в реактор біогазової установки, теоретично можна одержати близько 0,4-0,6 м<sup>3</sup> біогазу.

Крім кількості сухої речовини, суттєвим параметром, який впливає на вихід біогазу, є вміст та склад органічної речовини, особливо кількість жирів, білків, вуглеводів (таблиця 5.8).

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.7 - Вихід біогазу при анаеробному зброджуванні  
сільськогосподарських відходів [33]

Відходи:	Вихід біогазу на 1 кг сухої органічної речовини, м <sup>3</sup>	Вміст CH <sub>4</sub> , %
Гній: великої рогатої худоби	0,380	55,0
свиней	0,580	77,0
Курячий послід	0,630	79,2
Солома	0,342	58,0
Силосні відходи	0,280	84,0

Таблиця 5.8- Вихід біогазу і вміст метану (CH<sub>4</sub>) при метановому  
бродинні жирів, білків, вуглеводів [33]

	CH <sub>4</sub>	Вихід біогазу на 1 кг розкладеної органічної речовини, м <sup>3</sup>	Ступінь розкладу речовини, %
Вуглеводи	50,0-60,0	0,79-0,88	64,0-65,0
Жири	62,0-72,0	1,12-1,44	69,0-70,0
Білки	72,0-84,0	1,44-1,58	47,0-48,0

Співвідношення кількості біогазу, який може бути виділений із органічної речовини гноєвої біомаси дійних корів (Д), відгодівельних бичків (Б), свиней (С) і курей (К) в процесі метанового бродиння при мезофільній температурі орієнтовно може бути таким: Д:Б:С:К = 5:7:8:10.

Добовий вихід біогазу розраховується за формулами з врахуванням вмісту в гноєвій біомасі сухої (5.20) або органічної (5.22) речовин:

$$V_{г.доб.} = \frac{P_{a.c.p.} \cdot Z}{100 \cdot K \cdot V}, \quad (5.20)$$



де:  $V_{г.доб.}$  - добовий вихід біогазу,  $м^3$ ;

$P_{а.с.р.}$  - добова кількість сухої речовини, т;

$Z$  - стан розкладання органічної речовини, % (30);

$K$  - коефіцієнт розчинності біогазу (1,1-1,5);

$\nu$  - питома вага біогазу (при вмісті за об'ємом: метану 65 % та діоксиду вуглецю 35 % - дорівнює  $0,00117 \text{ т/м}^3$  або  $1,17 \text{ кг/м}^3$ ).

$$V_{г.доб.} = \frac{3306,35 \cdot 30}{100 \cdot 1,1 \cdot 0,00117} = 770711 \text{ м}^3$$

Річний вихід біогазу:

$$V_{г.річн.} = V_{г.доб.} \cdot 365. \quad (5.21)$$

$$V_{г.річн.} = 770711 \cdot 365 = 281309499 \text{ м}^3$$

$$V_{г.доб.} = P_{а.с.р.} \cdot K \cdot p, \quad (5.22)$$

де:  $V_{г.доб.}$  - добовий вихід біогазу,  $м^3$ ;

$P_{а.с.р.}$  - добова кількість сухої речовини, т;

$p$  - вихід біогазу з 1 кг органічної речовини: гній ВРХ - 0,2-0,5  $м^3$ ;

$K$  - коефіцієнт зброджування органічної речовини (0,3).

$$V_{г.доб.} = 3306,35 \cdot 0,3 \cdot 0,45 \cdot 1000 = 446357 \text{ м}^3$$

#### 5.4 Визначення виходу залишкової продукції

Після зброджування гноєвої біомаси і одержання біогазу залишається тверда фракція гною (шлам) і надосадова рідина (рідка фракція). Кількість твердої і рідкої фракції залежить як від вологості гною, який завантажується, так і вологості фракцій, які одержуємо (твердої і рідкої).

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В середньому з 1 кг органічної речовини, біологічно розкладеної на 70%, можна одержати 0,5 кг біогазу, 0,2 кг води і 0,3 кг нерозщепленого залишку шламу.

#### *Вихід твердої фракції (шламу)*

Тверда фракція гною містить значну кількість поживних речовин і може використовуватись як цінне знешкоджене органічне добриво або кормові добавки.

Річний вихід твердої фракції визначається за формулою:

$$M_{ш.річн.} = Q_{г.річн.} \cdot \frac{W_q - W_{г.зв.}}{W_q - W_{ш.}} \quad (5.23)$$

де:  $M_{ш.річн.}$  - річна маса шламу, т;

$Q_{г.річн.}$  - річний вихід гною, т;

$W_q$  - вологість рідкої фракції, % (98-99);

$W_{г.зв.}$  - вологість гною, що завантажується, % (88-92);

$W_{ш.}$  - вологість шламу, % (87).

$$M_{ш.річн.} = 18067,5 \cdot \frac{98 - 92}{98 - 87} = 9855 \text{ т}$$

Відносний вихід шламу:

$$M_{ш.відн.} = \frac{M_{ш.річн.} \cdot 100}{Q_{г.річн.}} \quad (5.24)$$

$$M_{ш.відн.} = \frac{9855 \cdot 100}{18067,5} = 54,5\%$$

Добовий вихід шламу визначається за формулою:

$$M_{ш.доб} = \frac{M_{ш.річн.}}{335} \quad (5.25)$$

$$M_{ш.доб} = \frac{9855}{335} = 29,4 \text{ т}$$

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### *Вихід рідкої фракції*

Рідка фракція містить у середньому: сухої речовини - 1,0-5,0; органічної речовини - 0,25-4,2; фосфору - 0,05-0,7; азоту - 0,31 1,14; рН рідкої фракції - 6,5-8,3.

Рідка фракція після анаеробної переробки гною відповідає вимогам, які пред'являються органами охорони природи до якості стічних вод.

Оскільки вона містить значну кількість поживних речовин, то може використовуватись як рідке органічне добриво, а також може бути

субстратом для вирощування гідробіонтів (мікробіодоростей) і частіше спіруліни (синьо-зеленої водорості), яка в свою чергу, є цінною білковою і вітамінно-мікромінеральною кормовою добавкою до раціонів сільськогосподарських тварин, а також сировиною для фармацевтичної промисловості.

Річний вихід рідкої фракції визначається за формулою:

$$M_{q.річн.} = Q_{г.річн.} \cdot \frac{W_{г.зв.} - W_{ш}}{W_q - W_{ш}}, \quad (5.26)$$

де  $M_{q.річн.}$  - річна маса рідкої фракції, т.

$$M_{q.річн.} = 18067,5 \cdot \frac{92 - 87}{98 - 87} = 8212,5 \text{ т}$$

Відносна кількість рідкої фракції:

$$M_{q.річн.} = \frac{M_{q.річн.} \cdot 100}{Q_{г.річн.}}; \quad (5.27)$$

$$M_{q.річн.} = \frac{8212,5 \cdot 100}{18067,5} = 45,5\%.$$

Добовий вихід рідкої фракції визначається за формулою:

$$M_{q.доб} = \frac{M_{q.річн.}}{335}, \quad (5.28)$$

$$M_{q.доб} = \frac{8212,5}{335} = 24,5 \text{ т}$$

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 5.5 Визначення виходу товарного біогазу

Товарний біогаз - це частка біогазу від загальної кількості біогазу, який отримують а процесі анаеробного бродіння, з якого можна одержати теплову або електроенергію, або замінити біогазом природні носії енергії (природний газ, нафту, дизпаливо, бензин тощо).

Вихід товарного біогазу залежить від кількості біогазу, який використовується для підігрівання зброджувальної біомаси та витрат теплової енергії при анаеробному бродінні, які у свою чергу залежать від природно-кліматичних умов, розміщення господарства, режиму роботи, складу і конструкційних особливостей БГУ.

Визначення теплової енергії, необхідної для підігрівання біомаси.

$$E_{\text{бгу}} = C \cdot Q_{\text{г.річн.}} \cdot \Delta t, \quad (5.29)$$

де:  $E_{\text{бгу}}$  - теплова енергія, необхідна для підігріву гною до температури бродіння, МДж;

$Q_{\text{г.річн.}}$  - річна кількість гною, яка виходить з ферми, кг;

$\Delta t$  - різниця температури зброджування і температури вихідного гною ( $t_{\text{збр}} - t_{\text{гною}}$ ), °C;  $t_{\text{збр}}$  залежить від режиму роботи БГУ, а  $t^{\circ}$  вихідного гною складає у теплий період року (245 діб) в середньому +20°C; в холодний - +10°C (120 діб).

$C$  - питома теплоємність рідкого гною ( $4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ ).

$$E_{\text{бгу}} = 4,19 \cdot 1000 \cdot 18067,5 \cdot 20 = 1514056500 \text{ МДж.}$$

Цей показник визначається спочатку окремо для теплого і холодного періоду року за формулами:

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_{\text{бгу.тепл.період}} = C \cdot (Q_{\text{г.доб}} \cdot 245) \cdot \Delta t ; \quad (5.30)$$

$$E_{\text{бгу.тепл.пер.}} = 4,19 \cdot (49,6 \cdot 245) \cdot 20 = 1018337,6 \text{ МДж};$$

$$E_{\text{бгу.хол.період}} = C \cdot (Q_{\text{г.доб}} \cdot 120) \cdot \Delta t ; \quad (5.31)$$

$$E_{\text{бгу.хол.пер.}} = 4,19 \cdot (49,6 \cdot 120) \cdot 20 = 498777,6 \text{ МДж};$$

$$E_{\text{бгу.річн}} = E_{\text{бгу.тепл.пер.}} + E_{\text{бгу.хол.пер.}} \quad (5.32)$$

$$E_{\text{бгу.річн.}} = 1018337,6 + 498777,6 = 1517115,2 \text{ МДж}$$

Визначення кількості біогазу, необхідного для підігріву біомаси:

$$Q_{\text{бг}} = \frac{E_{\text{бгу}}}{q}, \quad (5.33)$$

де:  $Q_{\text{г}}$ - кількість необхідного для підігріву біомаси біогазу,  $\text{м}^3$ ;

$q$  - чиста теплотворна здатність біогазу ( $q=22 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$ ).

$$Q_{\text{бг}} = \frac{1514056500}{22} = 68820750 \text{ м}^3.$$

Частка біогазу, необхідного для підігріву гною:

$$\eta_{\text{Н}} = \frac{Q_{\text{бг}}}{V_{\text{г.річн}}}, \quad (5.34)$$

де:  $Q_{\text{бг}}$  - необхідна кількість біогазу для підігріву біомаси,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{г.річн.}}$  - річний вихід біогазу,  $\text{м}^3$ .

$$\eta_{\text{Н}} = \frac{68820750}{281309499} = 0,24$$

Максимально-теоретичний коефіцієнт виходу товарного біогазу:

$$K_{\text{тб}} = 1 - \eta_{\text{Н}}, \quad (5.35)$$

де  $K_{\text{тб}}$ - коефіцієнт виходу товарного біогазу.

$$K_{\text{тб}} = 1 - 0,24 = 0,76$$

Визначення виходу товарного біогазу:

$$V_{\text{тг}} = V_{\text{г.річн.}} \cdot K_{\text{тб}} \quad (5.36)$$

$$V_{\text{тг}} = 281309499 \cdot 0,76 = 213795219 \text{ м}^3$$

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт ефективності характеризує енергетичний і техніко-технологічний рівень БГУ.

$$K_{ef} = \frac{Q_{бгу.повн} + E_{бгу}}{Q_{бгу.повн}}, \quad (5.37)$$

де  $Q_{бгу.повн.}$  - повна теплова енергія, яка виробляється БГУ, МДж;

$E_{бгу}$  - теплова енергія, не обхідна для підігріву гною до температури бродіння, МДж.

$$Q_{бгу.повн.} = V_{г.річн.} \cdot q, \quad (5.38)$$

де  $q$  - чиста теплотворна здатність біогазу ( $q=22 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$ ).

$$Q_{бгу.повн.} = 281309499 \cdot 22 = 6188808978 \text{ МДж}$$

$$K_{ef} = \frac{6188808978 + 1514056500}{6188808978} = 1,2$$

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ СТАДІЇ ЗБРОДЖУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА

Автоматизація – це вищий рівень розвитку машинного виробництва, за якого людина звільняється від безпосередньої участі у виробництві, а функції управління технологічними процесами, механізмами, машинами передаються автоматичним пристроям.

Мета автоматизації – підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції, оптимізація управління, усунення людини від виробництв, небезпечних для здоров'я [38, 39].

Це забезпечується впровадженням наукоємних, високоефективних та безпечних ресурсо- і енергозберігаючих технології виготовлення надійної, якісної і конкурентоздатної продукції.

Автоматизація дає можливість покращити основні показники ефективності виробництва: збільшення кількості, підвищення якості та зниження собівартості продукції, а також підвищення продуктивності праці. Впровадження автоматичних пристроїв забезпечує високу якість продукції, скорочення браку та відходів, зменшення чисельності основного персоналу, виключає випадки травматизму та роботи в шкідливих умовах тощо.

Окрім об'єкта керування, автоматизація вимагає додаткового застосування сенсорів, керуючих пристроїв, виконавчих механізмів та у переважній більшості базується на використанні електронної техніки та методів обчислень, що іноді копіюють розумові функції людини [40].

Автоматизація виробництва біогазу дозволяє підвищити точність підтримки технологічних параметрів на об'єкті управління, отримати додаткову економію енергетичних ресурсів, знизити експлуатаційні витрати, підвищити загальну продуктивність.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Любецький О.В.			АВТОМАТИЗАЦІЯ СТАДІЇ ЗБРОДЖУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ БЮГАЗУ З ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА		Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.								90	129
Керівн.		Щирська К.О.					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп		
Затверд.		Щирська К.О.							

Задачу автоматичного управління виробництва біогазу в загальному вигляді можна сформулювати наступним чином: незалежно від теплового режиму повинні підтримуватися необхідні значення регульованих параметрів (температури середовища в ферментаторі, температури води, яка подається, поточний рівень рН) на об'єкті бродіння. Робота при високих температурах вимагає установки спеціальних систем автоматизації і точного керування роботою біогазової установки.

Важливим елементом роботи БГУ є рівномірна подача субстрату. Для того, щоб уникнути перегодовування бактерій, найкраще рівномірно( з певним інтервалом часу) подавати субстрат в ферментатор через короткі інтервали часу. З цією метою необхідно використовувати автоматизовані системи подачі, які розраховані на певні часові інтервали.

## 6.1 Основні рішення з автоматизації

Функціональна схема автоматизації стадії зброджування наведено на рис.6.1 і відповідному кресленні проекту.

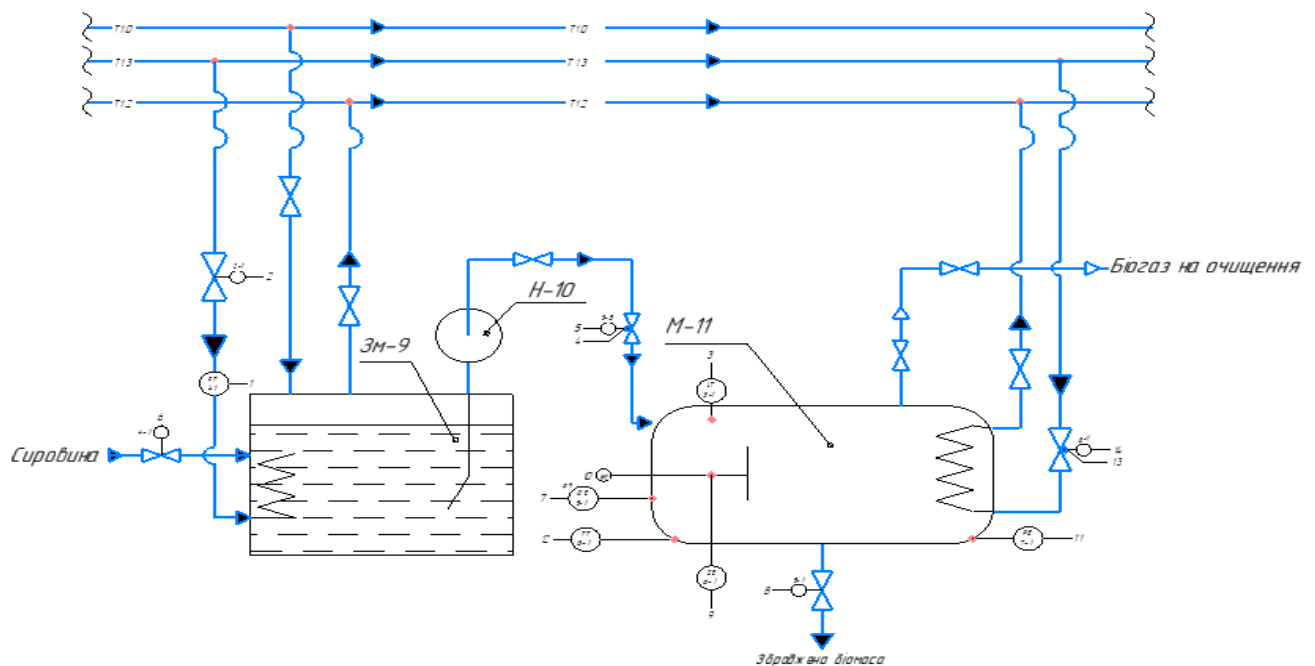


Рис. 6.1 Схема автоматизації стадії збродження біомаси



На стадії зброджування, контролю і регуляції підлягають наступні параметри:

- рівень реакційного середовища у реакторі;
- температура реакційного середовища у реакторі;
- рН реакційного середовища;
- тиск у реакторі;
- частота обертів мішалки;

Контроль і регулювання параметрів процесу здійснюється за допомогою датчиків та приладів встановлених на робочому обладнанні, трубопроводах та на пульті керування.

## 6.2 Автоматичне регулювання

Регулювання рН реакційного середовища. Для вимірювання рН використовують датчик рН П-02С (поз. 5-1) з діапазоном вимірювання  $1 \div 14$ , датчик перетворює активність іонів водню в електрорушійну силу і працює в комплекті з промисловим рН-метром рН-101П (поз. 5-2). Уніфікований електричний сигнал 4-20 мА з рН-метру поступає на мікропроцесорний регулятор МИК-21 (поз. 5-3), який забезпечує ПІД-імпульсне регулювання. Вихідні позиційні сигнали через безконтактний пускач ПБР-2М (поз. 5-4) керують роботою виконавчого механізму МЕО 6,3/10-0,25 (поз. 5-5), який забезпечує подачу сировини у ферментер при зниженні рН. При відхиленні рН за мінімальне значення вмикається попереджувальна сигналізація.

Швидкість обертання турбінної мішалки у реакторі (кількість імпульсів на один оберт валу) визначають за допомогою інкрементального енкодера ОГ 6 (поз. 6-1). Регулювання частоти обертання валу здійснюється на мікропроцесорному регуляторі МИК-21 (поз. 6-2), уніфікований сигнал якого через блок ручного керування БРУ-5-3-0-24 (поз. 6-3) надходить на частотний перетворювач MOVITRAC 07 (поз. 6-4), де відбувається

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворення напруги в напругу 220 В з частотою 10-50 Гц, яка надходить на двигун.

Регулювання рівня рідини у реакторі. Рівень реакційного середовища у реакторі вимірюється за допомогою радарного рівнеміра Burkert 8136 (поз. 3-1) з діапазоном вимірювання 0÷20 м. Вихідний аналоговий сигнал 4-20 мА через мікропроцесорний регулятор МИК-21 (поз. 3-2) та безконтактний пускач ПБР-2М (поз. 3-4) керує роботою виконавчого приладу МЕО 6,3/10-0,25 (поз. 3-5), який при забезпечує подачу води у реактор. Також є можливість ручного регулювання за допомогою БРУ-5-3-0-24 (3-3). При відсутності сигналу відбувається перекриття трубопроводу, через який здійснюється подача води.

Регулювання тиску у реакторі. Тиск у реакторі вимірюють за допомогою датчика Сафір М 2040 (поз. 7-1), розташованого в апараті. Діапазон вимірювання приладу: 0,01-0,25 МПа. Підтримання потрібного тиску забезпечує мікропроцесорний регулятор МИК-21 (поз. 7-2). Також є можливість ручного регулювання за допомогою БРУ-5-3-0-24 (7-3).

Регулювання температури реакційного середовища у реакторі. Температуру середовища вимірюють за допомогою термоелектричного перетворювача ТХАУ-0289 (поз. 8-1). Діапазон вимірювання приладу: 0÷200°C. Мікропроцесорний регулятор МИК-21 (поз. 8-2) приймає уніфікований аналоговий сигнал 4-20 мА від первинного датчика, показує його та формує регулюючий сигнал. За допомогою безконтактного пускача ПБР-2М (поз. 8-4) приводиться в дію виконавчий прилад МЕО 6,3/10-0,25 (поз. 8-5), що змінює подачу теплоносія. У разі несправності автоматичного регулятора, використовується блок ручного керування БРУ-5-3-0-24 (поз. 8-3). Вмикання контуру (8) здійснюють за допомогою кулачкових перемикачів ланцюга живлення (SA1 або SA2 відповідно) [40].

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 6.3 Технологічна сигналізація та захист

Сигналізація у вигляді світлового сигналу вмикається у разі критичного значення тиску у трубопроводі (НЛ-1 – жовтий колір)[38]. Також спрацьовує сигналізація у разі значного підвищення рН (НЛ-2 – жовтий колір).

При позитивному або негативному відхиленні температури у реакторі загоряється лампочка відповідного кольору: синього (негативне відхилення) – НЛ-3, (жовтого) позитивне відхилення – НЛ-4).

Також усі світлові сигнали супроводжуються ще й звуковим сигналом (поз.9.1) [42].

### 6.4 Дистанційне управління

Для зручності керування в ручну нами розроблено дистанційне управління. Вище було описано автоматичне регулювання параметрів проведення технологічного процесу з можливістю ручного регулювання.

Виключно вручну (з пульта керування) здійснюється регулювання наступних параметрів:

- витрати теплоносія (поз. 2-1, 2-2, 2-3);
- витрати сировини (поз. 4-1, 4-2, 4-3);

Дані контури регулювання функціонують за однаковим принципом: З блоку ручного управління БРУ-5-3-0-24 за допомогою безконтактного пускача ПБР-2М приводиться в дію виконавчий прилад МЕО 6,3/10-0,25. Специфікація на прилади та засоби автоматизації наведено в таблиці 6.1.

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 Специфікація контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації

Поз.	Назва параметру	Назва приладу, технічна хар-ка	Тип моделі	Місце монтажу	Допустимі значення	Кількість	Виробник, постачальник
1	2	3	4	5	6	7	8
1-1,	Тиск у паропроводі, тиск сорочці реактора	Датчик тиску	Метран-55-ДИ-515-42-С	За місцем	0,02-0,6 МПа	2	Schneider Electric, Франція
1-2,		Вимірювальний перетворювач	ИТМ-11-08-3-Р0,75-24	На щиті		3	ТОВ «Мікрол», Івано-Франківськ
2-1, 3-3, 4-1, 6-3, 7-3, 8-3		Блок ручного керування	БРУ-5-3-0-24			8	ТОВ «Мікрол», Івано-Франківськ
2-2, 3-4, 4-2, 5-4, 8-4		Пускач безконтактний	ПБР-2М	За місцем		8	ТОВ «Дисотрон», Запоріжжя
2-3, 3-5, 4-3, 5-5, 8-5,		Прилад виконавчий	МЕО 6,3/10-0,25			6	ТОВ «Промприлад», Харків
3-1	Рівень рідини у реакторі	Радарний рівнемір $I_{вих} = 4-20 \text{ мА}$ $t = -40-+80 \text{ С}$	Burkert 8136		0-20 м	1	ТОВ «Технолайф», Бровари
3-2,			МИК-21	На щиті		6	ТОВ

5-3, 6-2, 7-2, 8-2							«Мікрол», Івано- Фран- ківськ
5-1	рН середо- вища у реакторі	Датчик рН $t = 0 - 120\text{ }^{\circ}\text{C}$	П-02С	За місцем	0-14	1	ТОВ «ВП Діліс», Обухів
5-2		рН-метр промисло-вий $t = 0 - 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ $I_{\text{вих}} = 4-20\text{ мА}$	рН-101П	На щиті		1	ТОВ «ВП Діліс», Обухів
6-1	Частота обертів мішалки	Інкремен- тальний енкодер	OG 6	За місцем	100-512 імп. / об.	1	Habner- Digital- Tacho, Берлін
6-4		Перетворю- вач частоти	MOVITR AC 07			1	ЗАТ «Севев- Ро- Драйф», Санкт- Петербург
8-1	Темпе- ратура у реакторі	Термо- електрич-ний перетворю- вач $I_{\text{вих}} = 4-20\text{ мА}$	ТХАУ- 0289	За місцем	0-200 $^{\circ}\text{C}$	1	НВО «Електро- термія», Луцьк
SA1	Підклю- чення або відклю- чення контур	Кулачковий перемикач ланцюга живлення МП1	4G25-10- US5-R112	За місцем		1	м. Івано- Франківсь к, вул. Красівськ ого, 20
9-1	Захист, сигналіза- ція	Звукова сигналізація	ПП12	На щиті	220-380 В	1	Habner- Digital- Tacho

Таким чином, автоматизація стадії включає в себе контроль, регулювання та сигналізацію ключових параметрів протікання технологічного процесу (температури, тиску, рівня рідини, рН, частоти

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обертання мішалки та ін). Для автоматизації виробництва використовуються первинні датчики (сенсори), керуючі пристрої та виконавчі механізми.

Результатом автоматизації є підвищення продуктивності стадії зброджування за рахунок точного, швидкого управління параметрами процесу, а також зменшення трудомісткості процесу. Завдяки системам сигналізації та захисту вдалось забезпечити безпечну експлуатацію обладнання.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 7.1. Розрахунок виробничої потужності

Обираємо безперервний режим роботи підприємства, визначаємо загальний час роботи підприємства протягом року з урахуванням вихідних, святкових, неробочих днів:

$$ПП = \frac{M}{T} \quad (7.1),$$

$$ПП = \frac{43800}{365} = 120 \text{ т/добу}$$

де ПП – проектна продуктивність праці підприємства, т/добу; М – загальна запланована потужність підприємства, т/рік; Т – тривалість календарного року, днів.

### 7.2. Розрахунок ефективного фонду робочого часу підприємства

Режим роботи підприємства – безперервний (підприємство працює 365 днів на рік протягом 24 годин на добу, двозмінний режим роботи).

Тому ефективний фонд робочого часу становить:

$$T_{\text{еф}} = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год/рік} \quad (7.2).$$

Режим роботи підприємства представлено в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1-Річний фонд робочого часу підприємства

Показник	Норма робочого часу
1. Календарний фонд робочого часу підприємства, діб	365
2. Тривалість робочого дня підприємства, год.	24
3. Календарний фонд робочого часу підприємства, год.	8760
4. Час простою у планово-попереджувальних ремонтах протягом року, год.	$T_{\text{пр}}$
5. Річний фонд робочого часу підприємства, год.	$T_{\text{еф}} = 8760 - T_{\text{пр}}$

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Любецький О.В.				ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА		Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.							98	129	
Керівн.	Щирська К.О.						КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп		
Затверд.	Щирська К.О.								

### 7.3. Розрахунок та побудова графіка ТОРО

Система ТОРО містить капітальні, середні та поточні ремонти, передбачає технічний огляд та інші види міжремонтного обслуговування технологічного обладнання.

Виходячи з паспортних даних обраного обладнання розрахуємо час роботи обладнання між ремонтами, час простою, кількість ремонтів та складемо графік ТОРО.

В умовах безперервного виробництва номінальний річний фонд робочого часу роботи обладнання становить 8760 год/рік (або 8640 год/рік з урахуванням можливого простою обладнання з непередбачених причин, який у системі ТОРО складає 120 год/рік).

В умовах безперервного виробництва кількість капітальних ремонтів розраховується:

$$n_k = \frac{8640}{a_k} \quad (7.3),$$

де  $a_k$  – час між двома капітальними ремонтами.

Кількість середніх ремонтів:

$$n_c = \left( \frac{8640}{a_c} \right) - n_k \quad (7.4),$$

де  $a_c$  – час між двома середніми ремонтами.

Кількість поточних ремонтів:

$$n_p = \left( \frac{8640}{a_p} \right) - n_k - n_c \quad (7.5),$$

де  $a_p$  – час між двома поточними ремонтами.

Загальний час простою у ремонтах визначають за формулою:

$$T_{\text{рем}} = n_k \cdot t_k + n_c \cdot t_c + n_p \cdot t_p \quad (7.6),$$

де  $n_k, n_c, n_p$  – кількість відповідних ремонтів, од.;  $t_k, t_c, t_p$  – запланований час простою обладнання в ремонті, год/од.

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Для реактору, в умовах безперервного виробництва, кількість капітальних ремонтів дорівнює:

$$n_k = \frac{8640}{8640} = 1 \quad (7.7).$$

Кількість середніх ремонтів:

$$n_c = \frac{8640}{1440} - 1 = 5 \quad (7.8).$$

Кількість поточних ремонтів:

$$n_{\pi} = \frac{8640}{720} - 1 - 5 = 6 \quad (7.9).$$

Загальний час простою у ремонтах:

$$T_{\text{рем}} = 1 \cdot 96 + 5 \cdot 10 + 6 \cdot 3 = 164 \text{ год} \quad (7.10).$$

Ефективний час роботи підприємства:

$$T_{\text{еф}} = 8760 - 120 - 164 = 8476 \text{ год} \quad (7.11).$$

Розрахунки проводимо для кожного найменування одиниці обладнання.

Для метантенку згідно паспортних даних планується проведення капітального ремонту 1 раз на 6 років; проведення середніх ремонтів – один раз на 2 роки; проведення поточних ремонтів – два рази на рік.

Загальний час простою метантенків у ремонтах за шість років становить:

$$T_{\text{рем}} = 1 \cdot 96 + 3 \cdot 10 + 8 \cdot 3 = 150 \text{ год} \quad (7.12).$$

Ефективний час роботи метантенків за 6 років без простою обладнання:

$$T_{\text{еф}} = (8760 - 120) \cdot 6 - 150 = 51690 \text{ год} \quad (7.13).$$

Результати розрахунків представлені в таблиці 7.2.

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.2. Графік технологічного обслуговування і ремонтів обладнання на рік

Обладнання	Вид ремонту, тривалість простою			Кількість ремонтів протягом календарного місяця за видами ремонтів												Тривалість простою в ремонтах, год/рік	Ефективний фонд робочого часу обладнання, год/рік
	К	С	П	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Реактор	$\frac{8640}{12}$	$\frac{1440}{3}$	$\frac{720}{1}$	К	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	П	33	8607
Метантенк	$\frac{8640}{96}$	$\frac{1440}{10}$	$\frac{720}{3}$	К	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	П	164	8476
Нейтралізатор - усереднювач	$\frac{8640}{96}$	$\frac{1440}{15}$	$\frac{720}{5}$	К	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	П	201	8439
Тонкошаровий відстійник	$\frac{8640}{72}$	$\frac{1440}{7}$	$\frac{720}{2}$	К	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	П	119	8521
Газгольдер	$\frac{8640}{72}$	$\frac{1440}{12}$	$\frac{720}{8}$	К	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	П	180	8460
Газоосушувач	$\frac{8640}{48}$	$\frac{1440}{8}$	$\frac{720}{3}$	К	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	П	106	8534
Абсорбер	$\frac{8640}{72}$	$\frac{1440}{7}$	$\frac{720}{2}$	К	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	П	119	8521
Барабанный млин	$\frac{8640}{48}$	$\frac{1440}{8}$	$\frac{720}{5}$	К	С	П	С	П	С	П	С	П	С	П	П	118	8522

#### 7.4. Аналіз техніко-економічних показників

Основні техніко-економічні показники підрозділу представлені у таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 Техніко-економічні показники

Показник	Значення показників підприємства	
	Одиниця вимірювання	Значення
1. Річний випуск продукції;	м <sup>3</sup> /рік	8977540
2. Чисельність персоналу по списках У тому числі:	осіб	26
• основні й допоміжні робітники;		7
• інженерно-технічні робітники;		10
3. Середньорічний виробіток робітника;	м <sup>3</sup> /особу	528 090,6
4. Капіталовкладення	грн. грн./м <sup>3</sup>	20 264 646,7
• усього;		2,26
• на одиницю продукції;		
5. Загальна собівартість продукту:	грн. грн./упаковка	18 165 909,5
• усього;		4,03
• на одиницю продукції;		
6. Ринкова вартість продукту;	грн./м <sup>3</sup>	8,55
7. Відносний прибуток на одиницю продукції;	грн./м <sup>3</sup>	1,20
8. Рентабельність продукту;	%	146
9. Строк повернень капіталовкладень;	років	1,88
10. Вартість виробничих фондів У тому числі:	грн.	19 094 979,2
- основних;		4 052 929,35
- оборотних;		
11. Фондовіддача виробничих фондів;	грн./грн.	0,94
12. Фондомісткість	грн./грн.	1,06
13. Продуктивність праці підрозділу	грн./особу	1066743
14. Коефіцієнт економічної ефективності	-	0,53

## 7.5. Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту

### 7.5.1. Розрахунок капітальних витрат на будівництво нового підприємства

Капітальні витрати на будівництво нового підприємства розраховуємо за формулою:

$$K = V_{\text{буд}} + V_{\text{обл}} + V_{\text{ін}} + O_{\text{к.ф.}} \quad (7.14),$$

де  $V_{\text{буд}}$  – витрати на будівництво будівель і споруд, а також супутні витрати, тис. грн.;  $V_{\text{обл}}$  – витрати на придбання обладнання, враховуючи транспортні витрати та вартість монтажних робіт, тис. грн.;  $V_{\text{ін}}$  – інші витрати, пов'язані з будівництвом нового підприємства, тис. грн.;  $O_{\text{к.ф.}}$  – витрати на формування власних оборотних коштів та оборотних фондів, тис. грн..

Вартість робіт на будівництво розраховується за формулою:

$$V_{\text{буд}} = S \cdot h \cdot V_{\text{б}} \quad (7.15),$$

де  $S$  – площа будівлі чи споруди, яку визначають у відповідності з плануванням,  $\text{м}^2$ ;  $h$  – висота будівлі чи споруди, м;  $V_{\text{б}}$  – питома балансова вартість  $1 \text{ м}^3$  будівлі чи споруди,  $\text{грн./м}^3$ .

Результати розрахунків для будівель та споруд внесено до таблиці 7.4

Таблиця 7.4 Округлений кошторисно-фінансовий розрахунок вартості будівель та споруд

Об'єкт будівництва	Кількість споруд	Об'єм будівлі, $\text{м}^3$	Вартість одиниці робіт, грн./ $\text{м}^3$	Загальна вартість об'єкта, грн
Метантенк	1	1600	1500	2400000
Реактор	1	2500	1500	3750000
Тонкошаровий відстійник	2	700	1500	2100000
Гідролізер	1	1200	1500	1800000
Газгольдер	7	600	1500	900000
Приміщення операторної очисних споруд	1	40	1500	60000

## Продовження таблиці 7.4

Приміщення цеху очищення біогазу	1	100	1500	150000
Приміщення котельні	1	50	1500	75000
Кошторисна вартість робіт	11235000			
Інші витрати:				
1. надбавка за виконання будівельно-монтажних робіт у зимовий час	426930			
2. витрати на впорядкування території	112350			
Разом	11774280			
Резерв на непередбачені роботи та витрати	588714			
Повна кошторисна вартість будівель та споруд	12362994			

Таблиця 7.5 Кошторисно-фінансовий розрахунок вартості придбання та монтажу нового обладнання

Обладнання	Кількість	Вартість одиниці обладнання					Усього витрати, грн.	Норма амортизації, %	Усього сума амортизаційних відрахувань, грн./рік
		Ціна, грн./од	Транспортно-заготівельні витрати, грн.	Витрати на монтаж, грн.	Інші витрати, грн.	Усього на одиницю обладнання			
Нейтралізатор -усереднювач стічних вод	1	11 500	115	1150	575	13 340	13 340	10	13 34
Ваговий дозатор для сипких речовин	2	500	5	50	25	580	1160	10	116

## Продовження таблиці 7.5

Барабанний млин	1	15 000	150	1500	750	17 400	17 400	10	17 40
Абсорбер	2	14 500	145	1450	725	16 820	33640	10	3364
Центробіжний насос	16	4500	45	450	225	5220	83520	10	8352
Разом							149060		14906
Малоцінне та швидкозношуване обладнання та інструменти							29812	10	2981,2
Витрати на придбання виробничого інвентарю							2981,2	10	298,12
Разом							181853,2		18185,32

В таблиці 7.6 наведено зведений кошторис витрат.

Таблиця 7.6 Зведений кошторис витрат на будівництво підприємства

Вид витрат	Кошторисна вартість		
	Будівлі та споруди, грн.	Обладнання та інструменти, грн.	Усього, грн.
Основне, допоміжне та побічно-допоміжне виробництво	12362994	181853,2	12544847,2
Зовнішня мережа водопостачання, електрозабезпечення, тепло- та газифікації	123629,94	1818,532	125448,47
Інші витрати	795 046	---	795 046
Всього			13 465 341,7
Витрати на формування власних оборотних засобів			2693068,34
Сума коштів та оборотних фондів капітальних витрат			22 315 576

### 7.5.2. Розрахунок собівартості продукції підприємства. Амортизаційні відрахування

Таблиця 7.7. Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Об'єкт	кількість	Балансова вартість об'єкта, грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн./рік
Метантенк	1	1 280 000	10	128 000
Реактор	1	2 000 000	10	200 000
Тонкошаровий відстійник	2	840 000	10	84 000
Гідролізер	1	900 000	10	90 000
Газгольдер	7	3 360 000	10	336 000
Приміщення операторної чисних споруд	1	14 000	10	1400
Приміщення цеху очищення біогазу	1	20 000	10	2000
Приміщення котельні	1	25 000	10	2500
Разом				1 653 900
Обладнання		181853,2	10	18185,3
Сума амортизаційних нарахувань				1 674 585
Інструменти				2981,2
Виробничий та господарський інвентар				298,12
Разом				1 677 864,32

### 7.5.3. Розрахунок вартості сировини та матеріалів

Розрахунок витрат сировини, матеріалів базується на нормах витрат, встановлених галузевими нормативами, стандартами та технологічними регламентами підприємств, обраним технологічним рішенням. Результати розрахунків представлені в таблиці 7.8.

Таблиця 7.8 Розрахунок вартості сировини та матеріалів

Сировина та матеріали, грн..	Витрати на рік		Витрати на одиницю продукції		
	Кількість, од.	Сума, грн..	Кількість, од.	Ціна, грн./м <sup>3</sup>	Сума, грн..
1. Основна сировина: Гній ВРХ	8038,03т	8038030	$2,85 \cdot 10^{-5}$ т	1000	0,03
2. Силос кукурудзяний	3444,87т	2928139,5	$1,22 \cdot 10^{-5}$ т	850	0,01
3. Допоміжні матеріали: Вода водопровідна	3650 м <sup>3</sup>	19819,5	$4 \cdot 10^{-4}$ м <sup>3</sup>	5,43	$2 \cdot 10^{-3}$

#### 7.5.4. Розрахунок вартості палива та енергії на технологічні потреби

Заплановану до споживання кількість електроенергії розраховують за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{M_{\phi} \cdot T_{\text{еф}} \cdot K_{\text{зб}}}{K_{\text{поп}}} \quad (7.16),$$

де,  $M_{\phi}$  – установлена максимальна потужність одиницю бладнання, кВт/год;  
 $T_{\text{еф}}$  – ефективний час роботи обладнання, год;  $K_{\text{зб}}$  – коефіцієнт збільшення потужності обладнання;  $K_{\text{поп}}$  – коефіцієнт попиту на електроенергію.

Розраховані величини для різного обладнання внесено до таблиці 7.9.

Таблиця 7.9 Розрахунок потреби в електроенергії на технологічні потреби

Обладнання	Потужність, кВт	Кількість, од	Коефіцієнт попиту	Загальна потужність обладнання, кВт	Коефіцієнт збільшення потужності	Ефективний час роботи, год/рік	Загальні витрати електроенергії, кВт/рік
Основне обладнання							
Метантенк	3	1	0,9	3	1,1	8541	25623
Реактор	3	1	0,9	3	1,1	8541	25623
Тонкошаровий відстійник	0,8	2	0,9	1,6	1,1	8631	13809,6
Гідролізер	1,2	1	0,9	1,2	1,1	8636	10363,2
Газгольдер	0,3	6	0,9	1,8	1,1	8612	15501,6
Нейтралізатор-усереднювач стічних вод	1,2	1	0,9	1,2	1,1	8625	10350
Абсорбер	1,2	2	0,7	2,4	1,1	8631	20714,4
Барабанный млин	0,8	1	0,9	0,8	1,1	8622	6897,6
Допоміжне обладнання							
Усього на основне і допоміжне обладнання	128882,4						
Невраховане електрообладнання	25776,48						
Разом	154658,88						



Вартість спожитої енергії розраховують за формулою:

$$T_e = E \cdot C \quad (7.17),$$

де  $C$  – ринкова вартість електроенергії.

$$T_e = 154658,88 \cdot 2,3 = 355715,42 \text{ грн} \quad (7.18).$$

Розрахунок вартості палива та енергії на технологічні потреби приведені у таблиці 7.10.

Таблиця 7.10. Розрахунок вартості енерговитрат

Енергоносії	Витрати на рік		Витрати на одиницю продукції		
	Кількість, од	Сума, грн.	Кількість, од	Ціна, грн./од	Сума, грн.
Електроенергія	154658,88 кВт	355715,42	58 кВт	2,3	133,4
Вода	3650 м <sup>3</sup>	19819,5	4•10 <sup>-4</sup> м <sup>3</sup>	7,25	3•10 <sup>-3</sup>
Всього		375534,92			133,43

#### 7.5.5. Розрахунок основної та додаткової заробітної плати виробничих працівників із нарахуваннями

Фонд заробітної плати виробничих робітників (безпосередньо зайнятих виробництвом продукції) встановлюють виходячи із спискової чисельності тарифного розряду, тарифної ставки, кількості робочих днів, відпрацьованих одним працівником протягом року з урахуванням режиму роботи підприємства. Графік змінності основних виробничих працівників наведений у таблиці 7.11.

Таблиця 7.11. Графік змінності операторів біогазового комплексу

Номер бригади	Число поточного місяця/порядковий номер зміни															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
А	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В
Б	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1
В	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2
Г	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3

Виходячи з режиму роботи працівника та режиму роботи підприємства, розраховуємо річний фонд робочого часу одного працівника.

Ефективний фонд робочого часу робітника в нормальних умовах праці протягом року становить:

$$T_{ef} = 243 \cdot 8 = 1944, \text{ год /рік} \quad (7.19),$$

де 243 – кількість робочих днів одного працівника в нормальних умовах праці протягом року; 8 – тривалість робочої зміни, год/доб [50].

Розраховуючи фонд оплати праці, враховують явочну чисельність персоналу, чисельність його за списком, місячний оклад та тарифні розряди. При переході від явочного числа до спискового, необхідно розрахувати перехідний коефіцієнт:

$$365/243 = 1,5 \quad (7.20).$$

Різниця між списковим та явочним числом робітників дає кількість допоміжних робітників для підзмін.

Таблиця 7.12. Приблизний баланс часу роботи одного робітника

Показник	Тривалість, діб/рік, в умовах безперервного виробництва, при 8-годинному робочому дні
Календарний час роботи станції, днів	365
Неробочі дні з розрахунку на одного працівника: - вихідні - святкові	91 -
Номінальний фонд робочого часу, днів	274
Цілоденні невиходи на роботу: - основна відпустка - хвороби - декретна відпустка - виконання державних обов'язків - інші невиходи	18 7,5 4 1 0,5
Час роботи одного працівника, днів	243

Розрахунок тарифних сіток базується на тарифній ставці працівників 1-го розряду та відповідних коефіцієнтах. Під час розрахунку оплати праці враховуються норми мінімальної заробітної плати в Україні.

Згідно з даних на 01.01.18 мінімальна заробітна плата становить 3723 грн. Тоді тарифна ставка не повинна бути меншою за:

$$TC = (3723 \cdot 12) / (243 \cdot 8) = 23 \text{ грн / год} \quad (7.21).$$

Нарахування на заробітну плату складають 22%:

Послідовний розрахунок чисельності робітників та фонду заробітної плати наводяться в таблиці 7.13.

Таблиця 7.13. Річний фонд заробітної плати основних та допоміжних працівників

Професія	Розрахунок кількості працівників							Розрахунок фонду заробітної плати					
	Кількість працівників на зміні, осіб	Кількість змін на добу	Явочна кількість робітників, осіб	Календарний час роботи підприємства, днів	Перехідний коефіцієнт	Кількість робочих днів працівника за рік	Списочна кількість робітників	Тарифна ставка за робочий день, грн	Тарифна ставка за робочу зміну, грн.	Тарифний фонд зарплати, грн.	Додаткова зарплата, грн. ( 10%)	Разом фонд зарплати, грн.	Нарахування на заробітну плату(22%),грн
Основні робітники													
Оператор	1	3	3	365	1,5	243	4	168	72	6998 4	699 84	7698 2	11336
Цехові робітники													
Технолог	1	1	1	365	1,5	243	1	72	72	1399 68	139 96, 8	1539 64,8	33872
Персонал для нагляду за обладнанням													

Електрик	1	1	1	365	1,5	243	1	72	72	1399 68	139 96, 8	1539 64,8	33872
Робітники по ремонту обладнання													
Слюсар-ремонтник	1	1	1	365	1,5	243	1	72	72	1399 68	139 96, 8	1539 64,8	33872
Разом							7					5388 76,4	152424

Річний фонд заробітної плати інженерно-технічного персоналу розраховують на підставі місячних окладів.

Таблиця 7.14. Розрахунок фонду оплати праці інженерно-технічного персоналу та службовців

Посада	Кіл-ть штатних одиниць	Встановлений оклад, грн.	Надбавки, 10%, грн	Місячний оклад, грн	Річний фонд ЗП, грн.грн.	Відрахування на соціальне страхування, грн. (37,5%)
1	2	3	4	5	6	7
Керівний склад:						
Начальник цеху	1	6000	600,0	6600	79200	29700
Технолог цеху	1	4500	450,0	4950	59400	22275
Майстер	4	4000	400,0	4400	211200	79200
Молодший обслуговуючий персонал:						
Прибиральник	2	3200*	320,0	3520	84480	31680
Вантажник	2	3200*	320,0	3520	84480	31680
Разом					518760	194535

\*-ЗП за неповний робочий день

### 7.5.6. Розрахунок цехових витрат

Цехові витрати включають основну та додаткову заробітну плату цехового персоналу, витрати на утримання і поточне налагодження виробничих будинків і споруд, амортизацію виробничих будинків і споруд та витрати на охорону праці. Кошторис цехових витрат представлено в таблиці 7.15.

Таблиця 7.15. Кошторис цехових витрат

	Стаття витрат	Сума, грн.
1.	Заробітна плата цехового персоналу	119750,4
2.	Відрахування на соціальне страхування	1676,5
3.	Утримання виробничих будинків і споруд (5% їх вартості)	618149,7
4.	Поточне налагодження виробничих будинків і споруд (2% їх вартості)	247259,9
5.	Витрати на випробування, дослідження, реконструкцію, винахідництво	51100
.	Витрати на охорону праці	38325
	Разом по ст. 1-6	676644,7
	Знос малоцінного та швидкозношуваного реманенту, витрати на випробування, цехові витрати (5% фонду ЗП)	52881,82
	Разом цехові витрати	1805788,02

### 7.5.7 Розрахунок загальнозаводських витрат

До кошторису загальнозаводських витрат належать витрати на управління підприємством, загальногосподарські непродуктивні витрати, включаючи витрати на усунення браку. Інші продуктивні витрати на НДР, стандартизацію тощо.

Загальнозаводські витрати орієнтовно можна знайти, розраховуючи їх як частку цехових витрат. Враховуючи невеликі розміри підприємства, приймаємо загальнозаводські витрати як 20% від цехових витрат (табл. 6.13).

Таблиця 7.16 Розрахунок загальнозаводських виробничих витрат

Стаття витрат	Витрати, грн
Витрати на зарплату управлінню, брак, упаковку та доставку (приймаємо у об'ємі 20% від цехових витрат)	361 157,6

### 7.5.8. Розрахунок собівартості продукції

Собівартість розраховують на підставі калькуляції, яку складають або за елементами (для підприємства в цілому), або за статтями (для окремого підрозділу) (таблиця 7.17).

Таблиця 7.17. Калькуляція собівартості готової продукції

Стаття калькуляції	Витрати на річне одержання біогазу, грн.	Витрати на од.продукції (1м <sup>3</sup> ), грн.	Частка від повної собівартості, %
Сировина та матеріали	10 985 989	2,47	54,97
Енерговитрати	375 534,92	0,08	1,87
Заробітна плата виробничих робітників	1 057 636,4	0,2	5,29
Відрахування на соціальне страхування від зарплати виробничих робітників	344 822,00	0,07	1,72
Витрати на утримання та експлуатацію устаткування	3 234 981,6	0,73	16,18
Цехові витрати	1 805 788,02	0,4	9,03
Загальнозаводські витрати	361 157,6	0,08	1,8
Загальна собівартість	18 165 909,5	4,03	
Позавиробничі витрати (10% виробничої собівартості)	1 816 509,95	0,4	9,09
Повна собівартість	19 982 500,5	4,43	100

Отже, собівартість  $1\text{ м}^3$  біогазу з тваринних відходів становить 4,43 грн/ $\text{м}^3$ . Враховуючи, що закупівельна ціна державними органами становить 6,027грн/ $\text{м}^3$  (фінальна ринкова ціна для споживачів враховує тариф на подальше транспортування газопроводами, розподіл, тариф на постачання газу та ПДФ і становить 8,55 грн/ $\text{м}^3$  станом на грудень 2018р.) дана продукція є конкурентоспроможною.

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 8. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

### 8.1 Загальні вимоги безпечної експлуатації

До роботи на установках метанового зброджування допускаються лица не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання, інструктаж по техніці безпеки. Вагітні жінки і годуючі матері до обслуговування установки не допускаються [31].

Для обслуговуючого персоналу обов'язковий вступний та періодичний інструктаж по техніці безпеки і пожежній охороні. Необхідна періодична перевірка знань обслуговуючого персоналу по установці і правилам її експлуатації. Персонал, який допущений до обслуговування установки повинен знати: установку і принцип її роботи, схеми трубопроводів, місця підключення контрольно-вимірювальних пристроїв, інструкцію по безпечному обслуговуванню, способи попередження аварій і усунення виниклих неполадок.

За правильну та безпечну експлуатацію установки наказом по організації назначається відповідальне лице [31].

Кожний робочий повинен знати і беззаперечно виконувати правила техніки безпеки і правила внутрішнього трудового розпорядку [31].

Лиця, які тимчасово залученні до роботи на установці для ремонтних робіт, повинні пройти інструктаж по безпечному виконанню робіт [31].

Територія установки повинна мати справне огороження. Присутність посторонніх лиць на території установки без спеціально виділеного супроводжуючого не допускається [31].

Куріння і вживання їжі допускається лише і обладнаних для цих цілей місцях.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Любецький О.В.			ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ		Літ.	Арк.	Аркушів
Конс.								115	129
Керівн.		Щирська К.О.					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп		
Затверд.		Щирська К.О.							



Робоче місце апаратчика і прилегла територія повинна підтримуватися в належному стані. Не допускається захаращення проходів, проїздів і підступів до засобів пожежогасіння, електричним приладам, електрощитам, розподілюючим шафам та ін [31].

Всі вимірювальні засоби повинні проходити періодичну перевірку, мати пломбу. При замерзанні трубопроводів рідкого гною або біогазу їх слід відігрівати гарячою водою або паром. Застосування відкритого вогню всередині установки і приміщень не допускається. У випадку виникнення пожежі в якості засобу гасіння використовується сухий пісок і вуглекислотні вогнегасники.

В аварійних ситуаціях повинні застосовуватись індивідуальні засоби захисту: протигази, респіратори та ін. [31].

При відкритті гноєпроводів в закритих приміщеннях люди повинні працювати в респіраторах або протигазах [31].

Безпечна експлуатація насосного, компресорного обладнання, арматури і центрифуг повинна здійснюватися відносно відповідним інструкціям заводів постачальників [31].

## 8.2. Правила безпечної експлуатації метантенків

Біогаз, який складається переважно із метану та діоксиду вуглецю, при визначених концентраціях вибухонебезпечний. Самозагорання відбувається при температурі 630°C [31].

Метан – безбарвний газ, нерозчинний у воді, пригнічує ЦНС і впливає на рухливі функції, удушливо діє при концентраціях вище 5%.

Вуглекислий газ – безбарвний, стійкий, не горючий, тяжче за повітря, зі слабо-кислим запахом газу.

В залежності від концентрації, газ, який вдихається, надає збудливу, п'янку або удушливу дію [31].

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						116
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метантенки, газгольдери і виробничі приміщення при них відносяться до категорії пожежо- та вибухонебезпечних споруд.

Всі приміщення при метантенках повинні бути оснащені вентиляційними системами [31].

Кожен метантенк повинен бути забезпечений задвижками, гідрозатворами, які могли б його відключити від магістрального газопроводу біогазу. Газ, який виділяється в процесі бродіння, повинен мати вільний вихід із метантенку в газопровід. При підвищенні тиску біогазу в системі вище встановленої технологічним регламентом норми необхідно забезпечити автоматичне скидання тиску.

В приміщеннях при метантенках електричне обладнання і апаратура повинні бути виконанні в вибухонебезпечному виконанні, мати надійне заземлення [31].

Обслуговуючий персонал повинен слідкувати за якістю повітря за допомогою газоаналізаторів. В приміщеннях, де виявлений витік біогазу, повинні бути прийняті термінові міри по її усуненню.

Витік газу в комунікаціях виявляється мильними розчином (1л рідини – 25-30г мила), який наноситься на місця з'єднання, де можливий витік газу. Поява бульбашок мильної піни вказує на витік газу [31].

Робота в метантенках, яка пов'язана із спуском до них працівників, може відбуватися лише при наданні дозволу відповідального лиця за безпечної експлуатації установки. Бригада повинна складатися не менше, чим з трьох осіб. В метантенки робочим дозволяється спускатись тільки після провітрювання, з індивідуальними засобами захисту, на запобіжний поясах [31].

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 8.3 Вимоги санітарної безпеки

В рідкому гної і гноєвих стоках завжди присутні від 60 до 100 яєць гельмінтів на 1 л, бактерії групи кишкової палички. Присутність патогенної мікрофлори залежить від санітарного благополуччя на фермі, виникнення там одиничних захворювань тварин або епізоотії всього поголів'я [31].

Обслуговуючий персонал повинен:

- працювати в спецодязі і спеціальному взутті;
- не приймати їжу в приміщеннях ферми і установки метанового бродіння;
- працювати в рукавицях або резинових перчатках;
- після закінчення роботи руки дезінфікувати, промити з милом теплою водою;
- кожного дня прибирати приміщення вологим методом.

### 8.4 Охорона довкілля

Основним небезпечним відходом є зброджений осад, проте в поданій технології пропонується переробка і використання збродженої суміші. А саме: виготовлення твердого добрива, рідкого добрива та застосування конденсату для розбавлення суміші перед початком бродіння. Вихлопні гази, що утворюються при спалюванні біогазу, повинні підлягати очищенню від сполук сірки.

Оскільки ступінь зброджування, в результаті якого відбувається розпад біологічно нестабільних органічних сполук, досягає 30-40%, шлам позбавляється запаху, властивого вихідному субстрату. Гігієнічний ефект анаеробного бродіння обумовлюється, перш за все, тепловим впливом протягом певного відрізка часу. Для знищення окремих збудників хвороб потрібно в кожному конкретному випадку певна мінімальна температура і мінімальна тривалість.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Наведено характеристику фізико-хімічного складу субстрату для зброджування. Обрано співвідношення субстратів гною ВРХ до силосу кукурудзи як 70 до 30.

2. Проаналізовано існуючі технології отримання та попереднього очищення біогазу та обрано: одноступінчастий процес з поступовим методом подачі субстрату при мезофільному режимі зброджування (37°C) та «мокрому» методі зброджування з вологістю субстрату 92%. Зброджування сировини відбувається в горизонтальному метантенку. Очистка отриманого біогазу від CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S та водяної пари відбувається за допомогою промивки водою під тиском в абсорбері та конденсацією в газопроводах

3. Наведено характеристику основних біологічних агентів, які беруть участь у процесі анаеробного зброджування – ферментативних кислотогенів, ацетогенів та метаногенних бактерій. Описано біохімічний процес отримання біогазу, який відбувається в 4 етапи: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез, метаногенез. Наведено характеристику кінцевого продукту – біометану, який відповідає вимогам ДСТУ ISO 13443:2015 з калорійністю від 31,8 МДж/м<sup>3</sup>.

4. Розроблено технологічну, апаратурну схеми технології, одержання біогазу з відходів тваринництва. Розроблено схему автоматизації стадії зброджування при виробництві біогазу з відходів тваринництва з подальшою його очисткою та кондиціонуванням з метою подачі до газорозподільчої мережі.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Любецький О.В.						
Конс.								
Керівн.		Щирська К.О.						
Затверд.		Щирська К.О.						
					Літ.			
					Арк.			
					Аркушів			
					119			
					129			
					КПІ ім. Ізгоря Сікорського			
					ФБТ, БЕ-71мп			

5. Проведено розрахунок основних параметрів метанового зброджування гноєвої біомаси. Виконання технологічного розрахунку дало змогу обрати необхідну споруду – метантенк об'ємом 600 м<sup>3</sup>.

6. Проаналізовано шкідливі біологічні (патогени, бактерії, які стійкі до антибіотиків, яйця гельмінтів, що містяться у гноєвих стоках) та фізичні (неприємний запах, який може стати причиною пониження самопочуття, імунітету, викликати алергічні реакції та респіраторні хвороби) виробничі фактори та шляхи їх вирішення.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баадер В. Биогаз: теория и практика (пер. с нем. и предисловия М.И. Серебряного.) / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер // М.: Колос, 1982. – 148 с.
2. Марцинкевич В. Поводження з відходами тваринництва: переваги технології анаеробного зброджування / В. Марцинкевич, Н. Коломієць // К.: НЕЦУ, 2015. – 20 с.
3. Pollution from industrialized livestock production // Livestock policy brief. – 2010. – №2. – 8 p.
4. Statistics. Total. [Електронний ресурс] // International Energy Agency. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.iea.org/topics/renewables/>
5. Biogas barometer // Eurobserv'er. – November 2017. – 14 p.
6. Воронцов О. О. Утилізація відходів тваринництва з отриманням біогазу / О. О. Воронцов // К.: НУХТ, 2008. – 17 с.
7. Баркер Н.А. Біологічне метанове ферментування / Н.А. Баркер // К., 1994. – С. 1-80.
8. Лукьяненко И.И. Подготовка перегнойных стоков к обработке в метантенках / И.И. Лукьяненко // Изучение, проектирование и сооружение систем зданий метанового брожения перегноя. – 1982. – С. 33-34.
9. ДБН Б.2.2-12:2018. Планування і забудова малих сільськогосподарських підприємств та селянських (фермерських) господарств. – К.: Інститут "УкрНДІагропроект", 2018. – 13 с.
10. Латола П.П. Механизмы образования биогаза / П.П. Латола // М., 1992. – 55 с.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.	Любецький О.В.				СПИСОК  ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ			Літ.	Арк.	Аркушів		
Конс.										121	129	
								КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп				
Керівн.	Щирська К.О.											
Затверд.	Щирська К.О.											

11. Фокина В. Д. Переработка навоза в биогаз / В. Д. Фокина, А. Н. Хитров // М.: НИИТЭИСХ, 1981. – 50 с.
12. Семеновский А. А. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения (Предисл. и пер. с нем. П. Я. Семенова) / А.А Семеновский // — М.: «Колос», 1978. — 271 с.
13. Побігун А. М. Метанове бродіння як спосіб утилізації відходів тваринництва / А. М. Побігун, О. В. Бойко, І. О. Халіман // Науковий вісник ТДАТУ. – 2012. – В.2. – Т.2. – С. 89-95.
14. Кооп Ю. Виробництво і використання біогазу в Україні / Ю. Кооп, Ж. Хохі, Дж. Фултон, Х. Персонн. – Київ: Рада з питань біогазу з.т. – травень 2012. – 74 с.
15. Гуляєв В. М. Дослідження залежності виходу біогазу від складу середовища для культивування метаногенних мікроорганізмів / В. М. Гуляєв, К. В. Кликова // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Сер.: Технічні науки. – 2011. – Вип. №2. – С. 282-285. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpddtu\\_2011\\_2\\_55](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpddtu_2011_2_55)
16. Метаногенез: биохимия, технология, применение / [А. З. Миндубаев, Д. Е. Белостоцкий, С. Т. Минзанова та ін.] // К: Казанский государственный университет, 2010. – С. 178–191. – Режим доступу: [https://kpfu.ru/portal/docs/F1782254364/152\\_2\\_est\\_17.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F1782254364/152_2_est_17.pdf)
17. Хоулт Дж. Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. Т. 2: Пер. с англ. [Текст] / Под. ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса // М.: Мир. – 1997. – 368 с.
18. Майстренко О. Ю. Біогазові установки та методи їх розрахунку [Текст] / О. Ю. Майстренко, Ю. В. Куріс, О. В. Ряснова // Міжнародна конференція «Nauka I Inowacja 2009». – Poland. – 2009. – С. 6-14.
19. Куріс Ю. В. Метаногенез і технологічні схеми отримання біогазу [Текст] / Ю. В. Куріс // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2011. – № 10 (92). – С. 41-48.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Голуб Г. С. Газова автономія [Текст] / Г. С. Голуб, С. В. Кухарець // The Ukrainian Farmer. – 2016. – С. 181–182.
21. Эдер Б. Биогазовые установки. Практическое пособие [Текст]/Б. Эдер, Х. Шульц // Пер. с нем. по изд. 1996, выполнен компанией Zorg Biogas в 2008 г. – 268 с.
22. Куранова Н. Г Микробиология. Часть 2. Метаболизм прокариот: Учебное пособие / Н. Г. Куранова, Г. А. Купатадзе // М.: Прометей, 2017. – 100 с.
23. Жумагажинов А. Т. Способы интенсификации процессов анаэробного сбраживания [Текст] /А.Т. Жумагажинов, Н.К. Алгазинов // Вестник Инновационного Евразийского университета. – 2014. – №1. – С. 91-95.
24. Велез Д. Производство и использование биогаза на сельскохозяйственных предприятиях / Д. Велез // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1984. – № 5. – С. 79–83.
25. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці. Підручник / Під ред. Л.А. Саблій. – Рівне: НУВГП, 2016. – 356 с.
26. Поліщук В.Ю. Конструктивні особливості метантенків [Текст] / В. Ю. Поліщук, Тарасенко С. В., Сергеева О. О. // К.: MOTROL, 2011. – с. 56-61.
27. Козій І. С. Виробництво біогазу з відходів тваринництва як елемент енергоресурсозбереження [Текст] / І. С. Козій, С. С. Мелейчук, В. В. Волохін // Суми: Scientific Journal «ScienceRise», 2014. – №1(1). – с. 18-21.
28. Козловець О. А. Біотехнологія одержання біогазу при коферментації посліду птахів : дис. канд. техн. наук : 03.00.20 – біотехнологія / О. А. Козловець. – К., 2017. – 189 с.
29. Кучерук П. П. Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						123
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



кукурудзи : дис. канд. техн. наук : 05.14.08 – Перетворювання відновлюваних видів енергії / П. П. Кучерук. – К., 2016. – 164 с.

30. ДСТУ 5542-2014 Газы горючі природні для промислового та комунально-побутового призначення. Технічні умови. – Київ : Держспоживстандарт України, 2014. – 9 с. – (Межгосударственный стандарт) (Національний стандарт України).

31. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И. В. Семененко // Сумы: ПФ «МакДен», ИПП «Мрия-1» ЛТД, 1996. – 347 с.

32. Руководство по биогазу: от получения до использования / [А. Томас, Ф. Хартвиг, Д. Гельмут та ін.] // Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). – 2012. – 213 с.

33. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості // Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В. П. Новіков // Вінниця: НОВА КНИГА, 2010. – 816 с.

34. Філімонова І.А. Процеси та апарати харчових виробництв: Навч.-мет. посібник для самостійної роботи студентів / І.А.Філімонова // Умань: Видавничо-поліграфічний центр «Візаві», 2014. – 105 с.

35. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний // Харків: Світ Книг, 2014. — 495 с.

36. Егорова Е. Н. Обоснование параметров метантенка малого объема с перемешивающим устройством для условий республики Саха (Якутия): дис. канд. техн. наук : 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства / Е. Н. Егорова. – Якутия, 2017. – 159 с.

37. Газоподібне паливо. Біогаз. Методи відбору проб: ДСТУ 7509:2014 – [Чинний від 2015-01-01]. – Київ. Мінекономрозвитку України, 2014. – 9 с. – (Національні стандарти України).

38. Скляр О. Г. Основи біогазових технологій та параметри оптимізації процесу зброджування [Текст] / О. Г. Скляр, Р. В. Скляр // Праці

					МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таврійського Державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2009. – Вип. 9. – Т. 1. – С. 20-30.

39. Ружинська Л. І. Огляд конструкцій анаеробних біореакторів [Текст] / Л. І. Ружинська, А. О. Фоменкова, Є. В. Морозова // Комунальне господарство міст, Науково-технічний збірник, серія Технічні науки та архітектура. – 2013. - №107. – С. 330-341.

40. Кооп. Ю. Виробництво і використання біогазу в Україні: посібник [Текст] / Ю. Кооп [та ін.]: ред. Р. Шульц. – Рада з питань біогазу з.т. / Biogasrat e.V. в партнерстві з Адвокатським об'єднанням «Arzinger». – травень 2012р. – 40 с.

41. Уминський С.М. Технології одержання біогазу і органічних добрив в агровиробництві [Текст] / С. М. Уминський // Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки. – 2013. – Вип. 67. – С. 167-176.

42. Безпечна експлуатація газового господарства / Безпека життєдіяльності. – Режим доступу: [https://studme.com.ua/14860110/bzhd/ekspluatatsiya\\_gazovogo\\_hozyaystva.htm](https://studme.com.ua/14860110/bzhd/ekspluatatsiya_gazovogo_hozyaystva.htm)

43. Грибан В. Г. Охорона праці: Навчальний посібник [Текст] / В. Г. Грибан, О. В. Негодченко // К.: Центр учбової літератури. – 2009. – 280 с.

44. Кучерук П.П. Дослідження ефективності метаногенезу при анаеробному зброджуванні гною ВРХ з рослинними рештками / П.П. Кучерук, Ю.Б. Матвеев, Т.В. Ходаківська // Відновл. енергетика. – 2010. – В.20, №1. – С. 83-89.

45. Таргоня В.С. Визначення обсягів вторинної сировини та розрахунок можливого виходу біогазу на тваринницьких фермах та комплексах: мет. вказ. / В.С.Таргоня, В.В.Оверченко, Б.В. Щербак // К.: НУБПУ, 2013. – 27 с.

46. Яковлев С.В. Канализация. Учебник для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, А.И. Жуков // М.: Стройиздат, – 1975. – 632 с.

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

47. Саблій Л. А. Сучасні біотехнології видалення азоту із стічних вод / Л.А. Саблій, В.С. Жукова // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць. – Рівне, 2010. – Вип. 1 (49): Технічні науки. – С. 25-31.

48. Бескровна М.В. Сучасні біотехнології очистки стічних вод від мінеральних сполук азота / М.В. Бескровна, Н.В. Биковська // Вісник Національного Донецького університету Сер. А: Природничі науки. – 2009. – Вип. 2. – С. 345-348.

49. Біогазові технології в Україні. Встановлення та робота біогазових установок [Текст]. – Львів: Центр біогазових установок, 2011. – 30с.Режимдоступу:[http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA\\_news/Innovations\\_in\\_CBA/Budivnytvo\\_i\\_ekspl\\_Biogas\\_2011.pdf](http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnytvo_i_ekspl_Biogas_2011.pdf)

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ	Арк.
						126
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТОК А

## СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА КВП

Позиція	Позначення, марка	Найменування	Кількість	Маса, кг	Примітка
З-1		Повітрозабірник, висота труби 10 м, діаметр труби 300 мм	1		
Ф-2	ФЯР тип Рекка	Фільтр попереднього очищення повітря запиленістю до 5мг/м <sup>3</sup> . Неперервної дії коміркового типу заповнений 12 металічними гофрованими сітками, що змащені маслом. Пилоємність фільтру 200 г/м <sup>2</sup> . Ефективність очистки 75 %. Питома продуктивність 3000 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> год. Гідравлічний опір – 40 Па. Цикл роботи до регенерації – 70 год.	1		Збірний
П-3	900-31-2	Компресор повітряний. Продуктивність 970 м <sup>3</sup> повітря /хв. Тиск на виході 0,34 МПа. Потужність електродвигуна 3500 кВт. Температура повітря на виході до 200 °С.	1		Збірний
ЗБ-4, ЗБ-5,		Збірник	2		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
ШН-6		Транспортер шнековий, збірний ТВС-180, ТВС-200 Технічні дані ТВС-180 ТВЗ-200 Продуктивність, кг/год 5000 Діаметр шнека, мм 200 Габаритні розміри, мм: довжина - 2200, ширина - 1650, висота - 3100	1		Збірний

					МД.162.БЕЗ110.00.00.ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Людецький О.В.				ДОДАТОК А				
Конс.									
Керівн.	Щирська К.О.								
Затверд.	Щирська К.О.				КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФБТ, БЕ-71мп				
					Літ.	Арк.	Аркушів		
						127	129		

Д-7		Дробарка. Продуктивність - 350 кг/год. Металевий корпус. Потужність 1,9 кВт.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Н-8, Н-10, Н-12		Насос. Максимальний напір: 10.0 (м), Пропускна здатність: 100.0 (м <sup>3</sup> /год), Напруга мережі: 380 ~ 400 В, Частота струму: 50 (Гц), Потужність (W): 18.8 (кВт), Перекачувані середовища: вода з домішками, каналізаційні речовини, хімічно нейтральні речовини, чиста вода, технічна вода.	3		Збірний
Зм-9		Змішувач являє собою ємність з встановленим в нижній частині теплоносієм для підігріву субстрату. Оснащений мішалкою з мотор-редуктором і насосом для відкачування сировини.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
М-11		Метантенк з механічним перемішуючим пристроєм: об'єм номінальний в апараті 110 м <sup>3</sup> , тиск у апараті робочий 1 кПа, площа поверхні теплообміну 192 м <sup>2</sup> , частота обертання 12 хв <sup>-1</sup> , маса виробу в робочому стані 8920 кг, довжина 11100 мм, ширина 3940 мм, висота 5010 мм.	1		Збірний
Фп-13		Стрічковий фільтр-прес, з встановленими на рамі системами валів, між якими натягнуті дві нескінченні стрічки, з'єднані в нескінченні полотна. Є два вузла промивки стрічок, пристрій розподілу осаду по стрічці в зоні подачі осаду і пристрій зняття з стрічок зневодненого осаду.	1		Матеріал: корозійно-стійка сталь AISI 304
С-14		Вальцьова сушарка 18 "X 10" OVERTON GF10 DRYER / FLAKER	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Гр-15		Гранулятор ГKM-10. Матриця: 8 мм. Діагональ матриці 100 мм. Вироблений обсяг до 30 кг на	1		Збірний

					<i>МД.162.БЕ3110.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						128
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

		годину. Потужність гранулятора 1.5 кВт, 220 В			
Г-16, Г-21		Газгольдер. Діапазон робочих температур - $-40+45^{\circ}\text{C}$ ; робочий тиск - 1,6 МПа; розрахунковий тиск - 1,72 МПа; пробний тиск - 2,21 МПа; номінальний об'єм - $4\text{ м}^3$ ; Місткість - $3,5\text{ м}^3$ ; Маса без урахування покриття - 1200 кг;	2		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
КВ-17, КВ-19		Компресор. Тиск на вході, 0,5-1,1 МПа Температура газу на вході, $-5 + 30^{\circ}\text{C}$ Продуктивність, приведена до умов всмоктування, $1,6\text{ м}^3/\text{хв}$ Частота обертання, 16,5 1/с	2		Збірний
А6-19		Абсорбер для промивки водою під тиском	1		Збірний
КЗ-20		Конденсатозбірник	1		Збірний